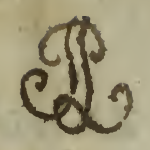


AIMÉ, G. & BOUCHARDAT, A.

2°

Dr Gilbert fils M D



MANUEL COMPLET

DU BACCALAURÉAT

ÈS-SCIENCES PHYSIQUES ET MATHÉMATIQUES.

Librairie de Germer Baillière.

ÉLÉMENTS DE PHYSIQUE à l'usage des élèves de philosophie; par C. C. PERSON, docteur en médecine, docteur ès-sciences, agrégé de l'Université et de la Faculté de médecine de Paris, professeur de physique du collége et de la ville de Rouen. 1836-1837, 2 vol. in-8, fig. 10 fr.

COURS DE CHIMIE ÉLÉMENTAIRE avec ses principales applications aux arts et à la médecine; par A. BOUCHARDAT, pharmacien en chef de l'Hôtel-Dieu de Paris, agrégé de la Faculté de médecine de Paris, 2 vol. in-8, avec 4 planches représentant les instruments de chimie. 9 fr.

NOUVEAUX ÉLÉMENTS D'HISTOIRE NATURELLE, comprenant la zoologie, la botanique, la minéralogie et la géologie, un fort volume grand in-18, de 970 pages, avec 44 planches gravées sur acier, et représentant 400 sujets; par A. SALACROUX, docteur en médecine de la Faculté de Paris, professeur d'histoire naturelle au collége royal Saint-Louis, membre de la Société des sciences naturelles de France. (*Ouvrage adopté par le Conseil royal de l'Université pour l'enseignement de l'histoire naturelle dans les colléges et écoles normales primaires.*) 1836. 7 fr.

PETITES CHIMIE ET BOTANIQUE DES ÉCOLES, ou Notions élémentaires de ces deux sciences; par un professeur, ancien élève de l'École polytechnique. Paris, 1835. 1 vol. in-18. 1 fr. 50 c.

NOUVEAU MANUEL COMPLET DES ASPIRANTS AU BACCALAURÉAT ÈS-LETTRES, contenant le nouveau Manuel approuvé par l'Académie de Paris; par EDME PONELLE; cinquième édition; 1836, 1 fort vol. in-8. 6 fr.

PARIS, — Imprimerie de BOURGOGNE et MARTINET,
Rue Jacob, 30.

MANUEL COMPLET

DU

BACCALAURÉAT

ÈS-SCIENCES PHYSIQUES ET MATHÉMATIQUES,

RÉDIGÉ D'APRÈS LE PROGRAMME DE L'UNIVERSITÉ,

PAR G. AIMÉ,

DOCTEUR ÈS-SCIENCES, ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE NORMALE DE PARIS,

et

PAR A. BOUCHARDAT,

DOCTEUR EN MÉDECINE, ET AGRÉGÉ A LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS,
PHARMACIEN EN CHEF DE L'HÔTEL-DIEU DE PARIS.

A PARIS,

GERMER BAILLIÈRE, LIBRAIRE-ÉDITEUR,

RUE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE, 17.

LIBRAIRIE CLASSIQUE DE POILLEUX,

Quai des Augustins, 57.

MONTPELLIER,
Castel et Sevalle, libraires.

LYON,
Savy, quai des Célestins, 49.

STRASBOURG,
Dérivaux et Levrault, libr.

TOULOUSE,
Paya et Senag, libraires.

1838.


WELLCOME
LIBRARY
INSTITUTE

AVIS DE L'ÉDITEUR.

Ce Manuel contient un précis de toutes les sciences dont la connaissance est exigée par les arrêtés du Conseil royal de l'Instruction publique pour les aspirants aux grades de bachelier ès-sciences mathématiques, et de bachelier ès-sciences physiques. Toutes les questions comprises dans les programmes publiés par l'Université ont été traitées avec précision. On a cherché, en outre, à ajouter tous les développements nécessaires pour former des résumés aussi complets que possible. On a suivi, en général, l'ordre du programme officiel, il n'a été interverti que lorsque l'exposition générale des matières l'exigeait.

Les mathématiques et la physique ont été traitées par M. Aimé, la chimie et l'histoire naturelle par M. Bouchardat.

Les connaissances exigées pour l'examen du baccalauréat ès-sciences sont trop étendues pour qu'on puisse les exposer d'une manière élémentaire dans

un aussi court espace; il est indispensable que les aspirants aient déjà puisé des notions exactes dans des ouvrages spéciaux plus étendus, ce Manuel n'ayant pour but que de leur mettre sous les yeux les choses qu'ils doivent savoir le plus particulièrement, et sur lesquelles ils doivent être interrogés.

Ce 15 octobre 1837.

ORDONNANCE DU ROI

RELATIVE AU BACCALAURÉAT ÈS-SCIENCES.

LOUIS-PHILIPPE, Roi des Français;

A tous présents et à venir, salut :

Vu le décret du 17 mars 1808 et les ordonnances des 5 juillet 1820, 13 juin 1830 et 18 janvier 1831;

Notre Conseil royal de l'Instruction publique entendu; sur le rapport de notre Ministre-secrétaire d'État au département de l'instruction publique,

Nous avons ordonné et ordonnons ce qui suit :

Art. 1er. A partir du 1er novembre 1836, nul ne pourra être admis à prendre sa première inscription dans une faculté, à quelque titre que ce soit, s'il ne justifie du diplôme de bachelier ès-lettres; sont exceptées les inscriptions dites de capacité.

Art. 2. A partir du 1er novembre 1837, nul ne pourra être admis à soutenir son premier examen dans une faculté de médecine, s'il ne justifie du diplôme de bachelier ès-sciences, dont les frais seront déduits au profit de l'élève sur le prix des inscriptions qui lui restent à prendre.

Art. 3. Seront dispensés de l'obligation du baccalauréat ès-sciences, les étudiants en médecine qui, en prenant leur cinquième inscription, déclareraient n'aspirer qu'au titre d'officier de santé; mais ladite inscription, et celles qu'ils continueront de prendre dans le même but, ne seront, dans aucun cas, admises à leur compter pour le doctorat en médecine.

Art. 4. Les inscriptions, quel qu'en soit le nombre, prises dans une école secondaire de médecine, ne pourront être échangées, jusqu'à concurrence de quatre inscriptions ou plus, pour le doctorat, dans la faculté de médecine, qu'autant que l'étudiant justifierait du diplôme de bachelier ès-sciences.

Pour obtenir, par voie d'échange, moins de quatre inscriptions dans une faculté de médecine, il suffira du diplôme de bachelier ès-lettres.

Art. 5. Les dispositions contraires des ordonnances antérieures sont et demeurent rapportées.

Art. 6. Notre Ministre-secrétaire d'État au département de

l'instruction publique est chargé de l'exécution de la présente ordonnance.

Donné au palais de Neuilly, le 9 août 1836.

LOUIS-PHILIPPE.

Par le Roi :

Le Ministre secrétaire d'État de l'instruction publique,

PELET DE LA LOZÈRE.

EXTRAIT

DES DIFFÉRENTS STATUTS UNIVERSITAIRES CONCERNANT L'EXAMEN DU BACCALAURÉAT ÈS-SCIENCES.

Pour être admis à l'examen du baccalauréat ès-sciences mathématiques et du baccalauréat ès-sciences physiques, il suffit de justifier du titre de bachelier ès-lettres (statut du 16 février 1810). L'inscription pour les deux baccalauréats se prend au secrétariat des facultés des sciences.

Le droit d'examen et de diplôme est de soixante francs. Les candidats paient deux francs en sus pour le droit de l'appariteur. Le versement de ces soixante-deux francs s'opère entre les mains du secrétaire de la faculté, lequel en délivre gratuitement une reconnaissance.

Le candidat qui se représente après avoir été refusé, paie de nouveau le droit d'examen qui est de vingt-quatre francs, plus deux francs pour le droit de l'appariteur. Il ne peut se représenter qu'après un intervalle de trois mois, à moins qu'il n'obtienne une autorisation du Ministre.

Les candidats sont interrogés sur les matières déterminées par l'arrêté du conseil royal de l'instruction publique, en date du 3 février 1837.

Toutefois, ceux d'entre eux qui se destinent à l'enseignement de la philosophie, sont dispensés de répondre sur la partie du programme relative à la chimie et à l'histoire naturelle.

Les diplômes qui sont délivrés dans ce cas, font mention de cette dispense et de la destination à laquelle ils sont exclusivement applicables.

L'examen des deux baccalauréats consiste dans une interrogation dont la durée est fixée à une heure au moins pour le baccalauréat ès-sciences mathématiques, et à trois quarts d'heure au moins pour le baccalauréat ès-sciences physiques.

ARRÊTÉ

DU CONSEIL ROYAL

DE L'INSTRUCTION PUBLIQUE,

EN DATE DU 3 FÉVRIER 1837,

RÉGLANT LES MATIÈRES SUR LESQUELLES SERONT INTERROGÉS LES ASPIRANTS AUX GRADES DE BACHELIER ÈS-SCIENCES MATHÉMATIQUES ET DE BACHELIER ÈS-SCIENCES PHYSIQUES.

Le Conseil royal de l'instruction publique,

Vu l'ordonnance du 9 août 1836, relative aux grades dont devront justifier les étudiants des facultés;

Voulant régler les matières sur lesquelles les aspirants aux grades de bachelier ès-sciences mathématiques et de bachelier ès-sciences physiques seront interrogés,

A arrêté ce qui suit :

ART. 1er. — L'examen des aspirants au grade de bachelier ès-sciences mathématiques aura pour objet :

1° L'arithmétique, la géométrie, la trigonométrie rectiligne, la trigonométrie sphérique, l'algèbre, comprenant la formule du binome et la résolution des équations numériques, l'application de l'algèbre à la géométrie, et les éléments de statique;

2° Les éléments de physique et de chimie, exigés des aspirants au baccalauréat ès-sciences physiques.

ART. 2. — Les candidats au baccalauréat ès-sciences physiques devront répondre :

1° Sur l'arithmétique, la géométrie élémentaire, l'algèbre, comprenant les problèmes qui dépendent des équations du premier degré à une ou plusieurs inconnues; sur les machines sim-

ples et la partie des éléments de statique qui s'y rapportent (1);

2° Sur les éléments de physique, de chimie et d'histoire naturelle, d'après les programmes ci-joints.

Art. 3. — La durée de l'examen pour le grade de bachelier ès-sciences mathématiques sera d'une heure au moins;

Celle de l'examen pour le grade de bachelier ès-sciences physiques devra être au moins de trois quarts d'heure.

Le conseiller vice-président,

Signé : VILLEMAIN.

Le conseiller exerçant les fonctions de secrétaire,

Signé : COUSIN.

Approuvé conformément à l'article 21 de l'ordonnance royale du 26 mars 1829.

Le ministre de l'instruction publique,

Signé : GUIZOT.

Pour copie conforme :

L'inspecteur général chargé de l'administration de l'Académie de Paris,

ROUSSELLE.

PROGRAMME DE PHYSIQUE (2).

Propriétés générales des corps.

1. Étendue. — *Impénétrabilité.* — Porosité. — Divisibilité. — Corps solides. — Liquides. — Gazeux.

2. Inertie. — Mobilité. — Forces. — Composition des forces. — Considérations générales sur l'équilibre et le mouvement. — Mouvement uniforme. — Vitesse. — Mouvement uniformément

(1) Ces matières, sauf les notions sur les machines simples et la partie des éléments de statique qui s'y rapportent, forment le programme de mathématiques pour la première année de philosophie dans les colléges royaux.

(2) Ce programme est celui de la première année de philosophie dans les colléges royaux.

varié. — Vitesse. — Mouvement relatif. — Mouvement absolu. — Quantités de mouvement. — Communication du mouvement entre des masses *non élastiques*.

Pesanteur.

3. Direction de la pesanteur. — Lois de la chute des corps démontrée par le plan incliné et par la machine d'Atwood.

4. Poids. — Centre de gravité. — Définition de la masse et de la densité. — Balances.

5. Mouvement de rotation. — Expériences sur la force centrifuge.

6. Lois des oscillations du pendule. — Application du pendule à la détermination de l'intensité de la pesanteur, et de la figure de la terre.

Hydrostatique.

7. Principe d'égalité de pression. — Conditions d'équilibre des liquides. — Pressions verticales et latérales. — Équilibre des liquides homogènes ou hétérogènes dans les vases communiquants. — Presse hydraulique. — Superposition de plusieurs liquides de densités différentes.

8. Principe d'Archimède démontré par le raisonnement et par l'expérience. — Détermination des densités des corps solides et liquides. — Aréomètres à volumes constants et à poids constants. — Usage des tables de pesanteurs spécifiques.

9. Fluides élastiques. — Pesanteur de l'air démontrée par l'expérience. — Baromètre. — Loi de Mariotte. — Manomètres. — Machine pneumatique. — Machine de compression. — Fusil à vent. — Fontaines de compression. — Application du principe d'Archimède aux fluides élastiques. — Mongolfières. — Ballons. — Mélange des fluides élastiques.

10. Énoncé du théorème de Toricelli sur l'écoulement des liquides; moyen de le vérifier par expérience, en ayant égard à la contraction de la veine. — Vase de Mariotte. — Siphon. — Siphon intermittent. — Fontaine intermittente. — Pompes aspirantes et foulantes.

Chaleur.

11. Dilatation des corps par la chaleur. — Construction des

thermomètres. — Mesure des dilatations des solides, des liquides et des gaz. — Détermination de la densité des gaz.

12. Chaleur rayonnante. — Sa réflexion. — Sa transmission au travers de différents corps. — Pouvoirs émissifs, absorbants et réfléchissants. — Équilibre mobile de température. — Réflexion apparente du froid.

13. Conductibilité des corps pour la chaleur.

14. Passage de l'état solide à l'état liquide, et passage inverse de l'état liquide à l'état solide. — Chaleur latente. — Mélanges réfrigérants.

15. Détermination des capacités par la méthode des mélanges et par la fusion de la glace.

16. Passage de l'état liquide à l'état de vapeur. — Formation des vapeurs dans le vide. — Maximum de leur force élastique. — Mesure de la force élastique maximum à diverses températures. — Ébullition, *chaleur latente*. — Condensation. — Idée des principes sur lesquels repose la construction des machines à vapeur.

17. Dans le mélange des vapeurs avec les gaz, les forces élastiques s'ajoutent. — Hygrométrie. — Sources de chaleur et de froid.

Electricité.

18. Développement de l'électricité par le frottement. — Corps conducteurs et non conducteurs. — Expériences sur lesquelles est fondée l'hypothèse de deux fluides.

19. Électricité par influence. — Électroscopes. — Électrophore. — Machines électriques.

20. Loi des attractions et des répulsions électriques. — Distribution de l'électricité sur des corps conducteurs. — Pouvoir des pointes.

21. Électricités dissimulées. — Condensateurs. — Bouteille de Leyde. — Batteries électriques.

Galvanisme.

22. Développement de l'électricité par le contact. — Principes sur lesquels repose la construction de la pile voltaïque. — Modification de cet appareil. — Effets qu'il produit.

Magnétisme.

23. Attraction qui s'exerce entre l'aimant et le fer. — Expériences par lesquelles on reconnaît qu'il y a toujours au moins deux pôles dans un aimant. — Expériences sur lesquelles est fondée l'hypothèse de deux fluides magnétiques.

24. Définir la déclinaison et l'inclinaison, et donner une idée des boussoles de déclinaison et d'inclinaison.

25. Procédés d'aimantation.

Electro-magnétisme.

26. Expériences qui constatent l'action des courants sur les aimants, et l'action des courants sur les courants.

27. Construction et usage du multiplicateur.

28. Moyens de produire les courants thermo-électriques. — Description du thermo-multiplicateur.

Actions moléculaires.

29. Capillarité. — Ascension ou dépression des liquides dans les tubes capillaires, et autres effets de la capillarité.

30. Élasticité. — Compressibilité des liquides. — Compressibilité des solides. — Élasticité de tension et de torsion. — Ténacité.

Acoustique.

31. De la production du son et de sa vitesse de transmission dans l'air atmosphérique.

32. Lois des vibrations des cordes. — Évaluation numérique des sons. — Sons graves et aigus.

Optique.

33. Propagation de la lumière dans un milieu homogène. — Moyen de déterminer le temps qu'elle met pour venir du soleil à la terre.

34. Réflexion. — Lois de la réflexion. — Effets des miroirs plans et des miroirs sphériques, concaves et convexes.

35. Réfraction. — Lois de la réfraction. — Effets des prismes,

considérés par rapport à la déviation seulement. — Effets des lentilles concaves et convexes.

36. Décomposition et recomposition de la lumière.

37. Structure de l'œil et vision.

38. Donner une idée des instruments d'optique les plus simples, tels que : la chambre claire. — La chambre noire. — La loupe. — Le microscope simple. — Le microscope solaire. — La lunette de Galilée. — La lunette astronomique. — Les télescopes.

Météorologie.

39. Moyenne hauteur annuelle du baromètre en différents lieux. — Limites des oscillations extrêmes. — Variations horaires à diverses latitudes.

40. Températures moyennes annuelles à la surface du sol à diverses latitudes. — Climats tempérés. — Climats excessifs. — Températures à diverses profondeurs.

41. Quantité de pluie à diverses hauteurs et en différents lieux. — Formation de la rosée, de la gelée blanche, du verglas, etc.

42. Électricité atmosphérique. — Effets de la foudre. — Construction des paratonnerres.

PROGRAMME DE CHIMIE (1).

1. Considérations générales sur la nature des corps, et sur la force qui unit leurs parties constituantes.

2. Nomenclature chimique, ordre d'après lequel les corps doivent être étudiés.

Dans l'étude des corps, s'attacher à leurs principales propriétés physiques, à leurs propriétés chimiques caractéristiques, à leur préparation et à leur composition ; ne pas négliger toutefois de parler de leur état naturel et de leurs principaux usages.

3. Notions sur la chaleur et l'électricité (celles qui sont nécessaires pour l'intelligence des phénomènes chimiques).

(1) Ce programme est suivi, depuis plusieurs années, dans les colléges royaux de l'Académie de Paris. Les numéros indiquent le nombre et le sujet des leçons à faire.

4. Lois suivant lesquelles les corps se combinent; nombres proportionnels.

Corps simples non métalliques.

5. Oxygène; définition et cause de la combustion; flamme.
6. Hydrogène; carbone; phosphore.
7. Soufre; chlore; azote.
8. Air atmosphérique.

Composés combustibles non métalliques.

9. Hydrogène proto et bicarboné; hydrogène phosphoré.

Des oxides et acides non métalliques.

10. De l'eau.
11. De l'oxide de carbone; de l'acide carbonique; de l'oxide de phosphore, et des acides hypophosphorique et phosphorique.
12. Des acides sulfureux et sulfurique.
13. Des oxides d'azote et des acides azoteux et azotique.
14. Des acides chlorhydrique, fluorhydrique, sulfhydrique.

Des métaux.

15 et 16. *Etude générale.* Classification des métaux; leurs propriétés physiques; action qu'exercent sur eux la chaleur, l'électricité, le fluide magnétique, l'oxygène, l'air, les corps combustibles (carbone, phosphore, soufre, chlore); l'eau, les acides sulfurique, azotique, chlorhydrique.

Notions sur l'état naturel des métaux, et la préparation des plus importants: étain, fer, cuivre, plomb, mercure, argent, or et platine.

Des alliages.

17. *Étude générale.* Insister sur la dureté que prennent les métaux en s'alliant; sur la décomposition des alliages par la chaleur, lorsqu'ils sont formés de métaux fixes et de métaux volatils, ou de métaux dont les degrés de fusion sont très différents; sur les phénomènes que présentent les alliages dans leur contact avec

l'air à une température élevée; enfin, sur la propriété que possèdent les métaux de s'unir en toutes proportions. Indiquer ensuite la composition ou la nature des amalgames, du bronze, du métal des cloches, du tamtam, de l'étamage, du fer-blanc, du moiré, de la soudure des plombiers, des caractères d'imprimerie, du cuivre jaune, des monnaies d'argent, d'or, de billon, de l'alliage fusible dans l'eau bouillante.

Des oxides métalliques.

18, 19 et 20. *Etude générale.* Classification; principales propriétés physiques des oxides; action qu'exercent sur eux la chaleur, l'électricité, le fluide magnétique, l'hydrogène, le carbone, le chlore, le potassium, l'eau, les acides.

Rappeler les lois de leur composition, donner une idée de la préparation de la plupart des oxides, en faisant voir comment on peut se les procurer, soit en combinant le métal à l'oxygène, soit en les extrayant des sels par les bases, ou des azotates ou des carbonates par la chaleur.

Etude particulière. Potasse, soude, baryte, chaux, magnésie, alumine, ammoniaque.

Des sels.

21 et 22. *Etude générale.* Nature des sels; leur division en familles, genres et espèces. Propriétés qu'ont les oxides de s'unir en diverses proportions avec le même acide. Lois auxquelles les sels sont soumis dans leur composition; conséquences importantes qu'on en tire pour l'analyse.

Action de l'eau, de la glace sur les sels. — Froids artificiels. — *Action hygrométrique de l'air; sels efflorescents, déliquescents.*

Action du feu et de la pile sur les sels; précipitation des métaux des dissolutions salines par d'autres métaux. Prouver ainsi que dans les sels de même genre, et au même état de saturation, les quantités d'acides sont proportionnelles à la quantité d'oxygène des oxides. Faire voir que les bases et les acides tendent à décomposer les sels; savoir: les bases, en s'emparant des acides, et les acides en s'emparant des bases des sels; citer les bases et les acides les plus énergiques.

Décomposition réciproque de deux sels solubles qui peuvent former un sel soluble et un sel insoluble.

Citer les principaux sels doubles.

23. Caractères génériques des carbonates; carbonate de chaux; carbonate de potasse; potasse du commerce; carbonate de soude; soude du commerce; carbonate d'ammoniaque.

24 et 25. Caractères génériques des phosphates; phosphate de chaux; phosphate d'ammoniaque : s'en servir pour rendre incombustibles les tissus les plus inflammables.

Caractères génériques des sulfates; sulfates de chaux, de soude, de magnésie; alun; sulfates de fer, de cuivre.

26. Caractères génériques des azotates; azotate de potasse, poudre.

Caractères génériques des chlorates; chlorate de potasse; poudres fulminantes.

27 et 28. Caractères génériques des chlorures; chlorures de sodium, de baryum; bichlorure d'étain, protochlorure d'antimoine; chlorures de mercure, d'or, de platine; chlorure de cobalt; encres sympathiques.

29. Chlorhydrate d'ammoniaque; silicates, verres, poteries, mortiers et mastics; pierres précieuses.

30 et 31. Généralités sur les matières végétales et animales.

PROGRAMME DE ZOOLOGIE.

Questions générales.

Définition générale des corps organisés animaux, par comparaison avec les corps organisés végétaux, et avec les corps inorganisés, en ayant successivement égard :

1° A la composition chimique ou moléculaire;

2° A la structure anatomique ou textulaire;

3° A la forme considérée d'une manière générale, et aux limites dont elle est susceptible;

4° A l'origine, à la formation ou naissance;

5° Au mode d'accroissement, par suite de la nutrition;

6° Au mode de destruction, de décomposition, par suite de la mort.

Définition de ce que l'on entend par *caractères* en général

et par caractères *naturels*, *artificiels*, *positifs*, *négatifs*, et par *subordination de caractères*, pour parvenir à la conception et à l'établissement d'une disposition méthodique des animaux.

Exposition des principes des différentes sortes de distribution méthodique des animaux, connues sous le nom de *systèmes*, de *méthode systématique*, *dichotomique*, de *méthode naturelle*, et, par suite de ce qu'on entend, on doit entendre par *individu*, *variété*, *genre*, *famille*, *ordre*, *classe*, *embranchement*, *type* et *règne*.

— Donner la définition et les principes de la *nomenclature*, appliquée à la dénomination et à la classification méthodique des animaux.

— Donner une idée générale de ce que l'on entend par distribution *géographique des animaux* à la surface de la terre, ou de la *géographie zoologique*.

Questions spéciales.

— Quelles sont les différences principales que présentent les animaux considérés sous le rapport de la forme générale et du volume?

— Quels sont les éléments anatomiques qui entrent dans la composition des animaux, et qu'entend-on par *solides*, *liquides*, *produits*? Qu'est-ce qu'une *fibre*, un *tissu*? Combien distingue-t-on de tissus dans les animaux? et dans quel ordre doivent-ils être classés?

Qu'est-ce qu'un *parenchyme*?

Qu'est-ce qu'un *organe*?

Qu'est-ce qu'un *appareil*?

— Quels sont les principaux appareils qui constituent la machine animale, et quelles sont les fonctions qu'ils exécutent?

— Qu'entend-on par fonctions et appareils de la *vie animale* et de la *vie organique*? Donner un exemple en définissant comparativement ce que c'est que l'*absorption*, l'*exhalation*, la *sécrétion*, la *sensation*, la *locomotion*.

Donner l'analyse de quelques uns des appareils et de leurs fonctions, comme de celui de la *vision* et de l'*audition* dans le système sensorial, de la *production de la voix*, de la *marche*, du *vol*, de la *natation* dans le système locomoteur, de la *digestion*, de la *respiration*, de la *circulation* dans le grand appareil de la *nutrition*.

— Qu'entend-on par *série* ou *échelle animale ?*

— Analyser les principaux systèmes de zoologie et les principes sur lesquels ils reposent.

Faire connaître les principales différences extérieures et intérieures qui distinguent les grandes divisions du règne animal, *mammifères*, *oiseaux*, *reptiles*, *amphibiens*, *poissons*, *insectes*, *mollusques* et *zoophytes*, et les principes de distribution systématique des espèces qu'elles renferment.

Donner enfin quelques exemples de l'emploi de la méthode naturelle appliquée à la distribution géographique des animaux, et à l'économie domestique.

PROGRAMME D'ANATOMIE ET DE PHYSIOLOGIE VÉGÉTALES, ET DE BOTANIQUE.

Qu'est-ce que le VÉGÉTAL ? Qu'a-t-il de commun avec l'ANIMAL et le MINÉRAL ? En quoi diffère-t-il de l'un et de l'autre ?

Nommer, définir, décrire, selon l'ordre de leur apparition, les organes simples ou composés de la végétation et de la reproduction.

Ce qu'on entend pas ces mots : *tissu végétal.* Faire connaître la forme primitive de ce tissu et les principales modifications que souvent il éprouve en vieillissant.

Comment, dans la généralité des espèces, il existe un certain accord plus ou moins sensible, entre la répartition des diverses modifications du tissu, et les trois grandes divisions admises par tous les phytologistes, de végétaux acotylédonés, monocotylédonés et dicotylédonés, de sorte que, pour l'ordinaire, on peut reconnaître à laquelle des trois divisions appartient une espèce, par la seule inspection de sa structure interne.

Dire ce qu'on sait touchant les principaux phénomènes de la vie végétale, tels que l'absorption, la transpiration, la respiration, le mouvement et l'élaboration des fluides, la nutrition, l'accroissement des parties anciennes, l'apparition de parties nouvelles, la formation des ovules avec ou sans le concours de la fécondation, la gestation durant laquelle l'ovule fécondé passe à l'état de graine, la germination, la tendance des racines vers le

centre de la terre et des tiges vers le ciel, les maladies, la mort, etc.

Décrire les mouvements particuliers qui se manifestent à l'extérieur dans plusieurs organes, et discuter les hypothèses par lesquelles on a essayé de les expliquer.

Montrer la parfaite convenance de certaines dispositions organiques pour l'accomplissement des phénomènes de l'absorption, de la transpiration, de la respiration, etc., et indiquer, autant que le permettent les progrès de la science, l'influence qu'exercent sur ces phénomènes les agents extérieurs pondérables ou impondérables.

Que doit-on entendre par ces mots : *Caractères botaniques?* D'après quelles données est-on convenu de mesurer l'importance relative de ces caractères, et, par conséquent, de les subordonner les uns aux autres? Appréciation des résultats plus ou moins satisfaisants obtenus par ce procédé.

Définir, d'après les auteurs les plus accrédités, l'individu, l'espèce, la variété, le genre, la famille, et mettre en lumière, à l'aide de quelques exemples bien choisis, ce qu'il y a de positif ou d'hypothétique dans les définitions.

Qu'est-ce que les classifications botaniques, dites *méthodes* ou *systèmes*, considérées sous le point de vue le plus général?

Dans l'état actuel de la phytologie, peut-on, comme on le fait souvent en zoologie, démontrer la nécessité de la coexistence des principaux caractères employés comme base des Méthodes?

Donner l'analyse des Méthodes de Tournefort, de Linnée, de Jussieu, et en montrer l'utilité pratique.

Indiquer sommairement la distribution des races végétales à la surface du globe, et les principales causes qui président à cet arrangement.

Enfin, donner des notions générales sur l'emploi des végétaux pour les besoins et les jouissances de l'espèce humaine.

PROGRAMME DE MINÉRALOGIE.

Quelles sont les différences générales qu'on observe entre les corps bruts et les corps organisés?

Quelles sont les formes essentielles des corps bruts?

Quelles sont les différences principales des six groupes auxquels on peut rapporter toutes les formes cristallines?

Qu'entend-on par clivage ou structure régulière?

En quoi consistent les structures irrégulières?

Quelles sont les autres propriétés physiques que présentent les minéraux?

De combien de manières les corps bruts peuvent-ils différer les uns des autres sous le rapport de la composition?

Comment s'établissent les différences entre des corps qui sont formés des mêmes éléments?

L'analyse seule suffit-elle toujours pour établir clairement la différence que les corps présentent?

Lorsqu'elle ne suffit pas, comment y supplée-t-on?

Quels sont les degrés relatifs d'importance qu'on peut attribuer aux diverses propriétés des minéraux?

Quelles sont celles de ces propriétés qu'on peut plus particulièrement employer comme caractères?

Définition de l'espèce minérale.

Que doit-on entendre par genre en minéralogie?

Peut-on former quelques autres groupes naturels de minéraux?

Quels sont les principaux minéraux qui composent les formations cristallines du globe, et ceux qui se trouvent dans les formations sédimentaires?

Quelles sont les principales applications des minéraux aux besoins de la société?

PROGRAMME DE GÉOLOGIE.

Quelle est la forme de la terre?

Quelles conséquences générales peut-on tirer du degré d'aplatissement de la terre à ses pôles?

Quelle est, à peu près, l'épaisseur de la partie extérieure connue du globe terrestre relativement au diamètre de celui-ci?

Qu'entend-on par *roche*, *dépôt*, *stratification*, *superposition*, par *fossiles*, *formation*, *terrain*, *sol*?

En comparant les *roches* aux produits actuellement formés par les eaux et par les volcans, peut-on les distinguer en roches de *formation aqueuse* et roches de *formation ignée*?

Quels sont les caractères particuliers de ces deux modes de formation ?

Comment reconnaît-on l'âge relatif des divers dépôts formés par les eaux ?

Les mêmes moyens peuvent-ils servir pour classer dans l'ordre de leur ancienneté les dépôts d'origine ignée ?

Donner une idée de la composition et de la structure du *terrain* qui renferme la *houille*.

Indiquer les principales conditions de composition et de structure de sol, favorables à la recherche et à la découverte des sources et des eaux jaillissantes.

Dire dans quelles formations et dans quels terrains se rencontrent les divers minerais métalliques, les dépôts charbonneux, les marbres, le sel gemme, le gypse, les pierres lithographiques, les pierres à chaux hydraulique, les argiles à porcelaine et à poterie, les marnes à amender.

MANUEL

COMPLET

DU BACCALAURÉAT

ES-SCIENCES MATHÉMATIQUES ET PHYSIQUES.

PREMIÈRE PARTIE.

ARITHMÉTIQUE.

CHAPITRE PREMIER.

NUMÉRATION. ADDITION. SOUSTRACTION. MULTIPLICATION. DIVISION.

§ Ier. NUMÉRATION.

Tout ce qui est susceptible d'augmentation et de diminution se nomme quantité. Il serait impossible de prendre une idée exacte des grandeurs et des quantités de même espèce si l'on ne choisissait parmi elles une certaine quantité qui pût leur servir de terme de comparaison : cette quantité se nomme unité, et la réunion de plusieurs unités de même grandeur compose un nombre entier.

La manière de former les nombres, de les énoncer et de les écrire, est l'objet de la numération, et la science qui a pour but d'enseigner à effectuer les diverses opérations sur les nombres, se nomme arithmétique.

Pour former les nombres, on part de l'unité ou de un. L'unité, ajoutée à elle-même, donne un nombre nommé deux ; ce dernier nombre, augmenté d'une unité, donne un nouveau nombre

nommé trois; et en continuant ainsi à ajouter successivement l'unité à chaque nombre obtenu, on compose les nombres quatre, cinq, six, sept, huit, neuf.

L'unité ajoutée à neuf donne dix, ou une nouvelle espèce d'unité appelée dizaine. On compte par dizaines comme on compte par unités. Les mots vingt, trente, quarante, cinquante, soixante, soixante-dix, quatre-vingts, quatre-vingt-dix, cent, indiquent deux, trois, quatre......, dix dizaines. En intercalant entre chaque dizaine la série des neuf premiers nombres, on forme ainsi tous les nombres compris entre un et cent. Au lieu des mots dix-un, dix-deux, dix-trois, dix-quatre, dix-cinq, dix-six, on emploie les expressions onze, douze, treize, quatorze, quinze, seize.

On compte par centaine comme par dizaine. La réunion de dix centaines forme une nouvelle unité nommée mille. En intercalant entre chaque centaine les quatre-vingt-dix-neuf premiers nombres, on forme ainsi tous les nombres compris entre cent et mille.

On compte par mille comme par unités simples; ainsi l'on dit, par exemple : deux cent vingt-cinq mille. En intercalant entre chaque unité de mille la série des nombres compris depuis mille jusqu'à neuf cent quatre-vingt-dix neuf, on obtient tous les nombres compris depuis mille jusqu'à mille fois mille, ou un million. Mille fois un million donne un billion, mille fois un billion donne un trillion, etc... Pour avoir tous les nombres compris entre ces diverses sortes d'unités, il faut intercaler les unités d'ordre inférieur, comme cela a été déjà indiqué suffisamment plus haut.

La simplicité du système de la numération parlée, résultant du petit nombre de mots qu'il a suffi de créer pour exprimer tous les nombres, a fourni l'idée de les écrire d'une manière plus abrégée et plus propre aux calculs, à l'aide de quelques signes nommés chiffres. Ainsi, de même qu'on employa neuf mots simples pour énoncer les neuf premiers nombres, on adopta neuf chiffres pour les représenter; et, comme les combinaisons de ces neuf noms avec ceux des divers ordres d'unités avaient donné les noms de tous les nombres, on convint; que les chiffres, placés les uns à côté des autres, indiqueraient par leur valeur le nombre d'unités de chaque espèce, et, par leur position, l'ordre de ces unités. Ces chiffres sont :

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, qui représent les neuf premiers nombres.

Ainsi le nombre trente-trois s'écrit 33, parce l'on convient que le premier chiffre de droite représente les unités simples, et qu'un chiffre placé à sa gauche exprime des unités dix fois plus fortes. Si l'on n'avait que le nombre trente à écrire, on écrirait 30. Le signe 0, que l'on appelle zéro, n'a aucune valeur par lui-même, il ne sert qu'à donner de la valeur aux autres caractères en les déplaçant. Ainsi :

34,001 représente trente-quatre mille une unités.

§ II. DE L'ADDITION.

Le but de l'addition est de calculer un nombre nommé somme qui contienne à lui seul toutes les parties de plusieurs autres nombres.

Soit à ajouter le nombre 225 à 340, on met les deux nombres l'un au-dessus de l'autre, de manière à faire correspondre les unités de même ordre, et l'on place un trait au-dessous.

$$\begin{array}{r} 225 \\ 340 \\ \hline 565 \end{array}$$

La somme devra être composée de toutes les unités simples, de toutes les dizaines, de toutes les centaines qui entrent dans les nombres donnés. Elle devra donc contenir 5 unités, 6 dizaines et 5 centaines, et par conséquent sera égale à 565.

Soit à ajouter 296 à 185; la somme est égale à 11 unités simples, à 17 dizaines et à 3 centaines. Mais 17 dizaines est égal à 1 centaine et à 7 dizaines, 11 est égal à 1 dizaine, plus 1 unité; donc la somme est égale à 1 unité 7 dizaines, plus 1 dizaine ou 8 dizaines et 3 centaines, plus 1 centaine ou 4 centaines. On a donc en définitive pour la somme 481

$$\begin{array}{r} 296 \\ 185 \\ \hline 481 \end{array}$$

d'où l'on tire la règle suivante : Pour ajouter deux nombres, on les place l'un au-dessous de l'autre, comme il a été indiqué, on ajoute d'abord les unités simples; si leur somme surpasse 9, on reporte la dizaine dans la colonne des dizaines, on l'ajoute à celle-ci, et ainsi de suite.

Quand on a plus de deux nombres à ajouter, on opère d'une manière semblable.

Quand il vient à manquer une unité d'un certain ordre, on met un zéro pour en tenir la place. Soit, par exemple, à ajouter 25 à 45; 5 unités ajoutées à 5 unités donnent 10 unités ou 1 dizaine, qui, ajoutée à 6 dizaines, donne 7 dizaines ou 70.

§ III. SOUSTRACTION.

La soustraction a pour but de retrancher un nombre d'un autre : le résultat se nomme reste ou différence.

Soit à retrancher de 425 le nombre 114, on place 114 au-dessous de 425, on souligne, on retranche les unités des unités, les dizaines des dizaines, et ainsi de suite; on trouve ainsi

$$\begin{array}{r} 425 \\ 114 \\ \hline 311 \end{array}$$

311 pour reste. Souvent il n'est pas possible de retrancher un chiffre inférieur du chiffre supérieur.

Soit à retrancher 137 de 425, le chiffre 7 ne peut être retranché de 5.

$$\begin{array}{r} 425 \\ 137 \\ \hline 288 \end{array}$$

Mais si l'on remarque que 25 est égal à 1 dizaine plus 15 unités, on pourra retrancher 7 unités, il viendra alors 418 pour le reste. Il faut maintenant retrancher 3 dizaines, et on n'a que 1 dizaine et 4 centaines. La soustraction n'est pas possible; mais si l'on remarque que 4 centaines est égal à 3 centaines, plus 1 centaine ou 10 dizaines, on pourra effectuer la soustraction; car 3 dizaines retranchées de 11 dizaines, il reste 8 dizaines. Le reste de la soustraction de 37 est 388, il faut encore retrancher 1 centaine de 3 centaines, le résultat définitif est donc égal à 288.

L'on voit donc que pour retrancher un nombre d'un autre il faut écrire le nombre à retrancher au-dessous de l'autre, et effectuer la soustraction en commençant par les unités du dernier ordre, en ayant soin d'emprunter 1 unité de l'ordre immédiatement au-dessus, quand la soustraction n'est pas possible, en ayant soin toutefois d'en tenir compte, quand on passe à la soustraction des unités de l'ordre supérieur.

Ici se présentent deux remarques importantes. Soit 25 à retran-

cher de 35. Les unités se détruisant, il faut, pour en tenir la place, écrire zéro, ce qui donne 10 pour reste.

Soit 236 à retrancher de 345.

On a fait observer que pour retrancher 6 de 5, il faut emprunter 1 dizaine aux 4 dizaines. De sorte qu'ensuite on a à retrancher 3 dizaines de 3 dizaines. On a l'habitude en arithmétique de retrancher 4 dizaines de 4 dizaines; le résultat est le même que si l'on avait retranché 3 dizaines de 3 dizaines; car il est évident qu'en ajoutant aux deux nombres une même quantité, le reste ne change pas. Ainsi l'on dit 5 de 6 n'est pas possible, j'emprunte 1 dizaine, 6 de 15 reste 9, je reporte cette dizaine sur les 3 dizaines, et je retranche ces 4 dizaines du nombre inférieur, du nombre 4 des dizaines du chiffre supérieur, il reste zéro. Enfin, 2 centaines ôtées de 3 centaines, il reste 1; on a donc enfin

109 pour reste.

§ IV. MULTIPLICATION.

Le but de la multiplication est de répéter un nombre nommé multiplicande, autant de fois qu'il y a d'unités dans un autre nombre nommé multiplicateur; le résultat se nomme produit, le multiplicande et le multiplicateur sont les facteurs du produit.

Pour multiplier deux nombres l'un par l'autre, il est nécessaire de connaître d'abord les différents produits obtenus en multipliant deux quelconques des 9 premiers nombres l'un par l'autre.

Soit à multiplier 123 par 50. Le produit doit être égal au nombre 123 répété 50 fois, et comme 50 est égal à 5 fois 10, cette somme est formée de 10 sommes partielles, composées chacune de 5 nombres égaux à 123, c'est-à-dire de 5 fois 123 répété 10 fois. Or 5 fois 123 est égal à 615, qui, répété 10 fois, donne 6150.

Par un raisonnement semblable, on pourrait prouver que le produit de 123 par 500 est égal à 61,500.

Nous avons dit que le produit de 123 par 5 était égal à 615; pour le prouver, on considère 123 comme égal à 3 plus 20, plus 100, et l'on répète chacune de ces parties 5 fois, ce qui donne 15, 100, 500; en ajoutant ces parties, on trouve 615.

Nous pouvons maintenant trouver le produit de deux nombres entiers quelconques. Soit 213 à multiplier par 124; on prend

le nombre 213, 4 fois, puis 20 fois, puis 100 fois, et on ajoute, ce qui donne pour produit 26,412.

```
  213
  124
 ----
  852
 426
213
-----
26412
```

En général, pour multiplier un nombre par un autre, écrivez le multiplicateur sous le multiplicande, et mettez un trait sous ces nombres; multipliez le multiplicande successivement par chaque chiffre du multiplicateur, et placez les produits partiels de manière que lorsqu'on les additionnera, le premier chiffre à droite de chacun de ces produits exprime des unités de même ordre que le chiffre qui a servi de multiplicateur; mettez un trait sous les produits partiels; leur somme que vous poserez au dessous sera le produit total.

Le produit de plusieurs nombres entiers ne change pas de valeur dans quelque ordre qu'on effectue les multiplications.

Soit le produit $4 \times 3 \times 5$. (Le signe $\times$ indique multiplié par.) Pour effectuer les multiplications dans l'ordre indiqué, il faut multiplier d'abord 4 par 3, et multiplier ensuite le résultat par 5; or, $4 \times 3 = 4 + 4 + 4$; il reste à multiplier 4×3 par 5, ce qui revient à prendre 5 fois chacune des parties 4, 4, 4, qui composent 4×3, et à en faire la somme. Donc

$$4 \times 3 \times 5 = 4 \times 5 + 4 \times 5 + 4 \times 5.$$

Le produit $4 \times 3 \times 5$ est donc égal à 4×5 répété 3 fois ou à $4 \times 5 \times 3$.

Il est facile d'étendre ce qui précède au cas d'un plus grand nombre de facteurs.

§ IV. DE LA DIVISION.

La division a pour but, connaissant un produit de deux facteurs, nommé dividende, et un de ses facteurs, nommé diviseur, de trouver l'autre facteur nommé quotient.

Soit proposé de diviser 4,536 par 8.

Le dividende étant égal à la somme des produits partiels du diviseur par les nombres exprimés par les différents chiffres du

quotient, si l'on pouvait déduire du dividende ces différents produits partiels, il suffirait de les diviser par le diviseur pour obtenir les chiffres du quotient cherché ; l'opération serait ainsi ramenée à une suite de divisions partielles, faciles à exécuter, qui donneraient successivement tous les chiffres du quotient.

Pour découvrir les parties du dividende qui renferment ces produits partiels, on dispose le calcul de la manière suivante.

Dividende	4536	8 diviseur,	
	40	5 centaines,	quotients partiels.
1er reste.	536	6 dizaines,	
	48	7 unités,	
2e reste.	56	567 quotient total.	
	56		

On cherche d'abord le chiffre des plus hautes unités du quotient; et à cet effet, on détermine la partie du dividende qui renferme le produit de ce chiffre par le diviseur 8. Ce produit, qui est composé d'unités de même ordre que celles du chiffre cherché, doit se trouver dans le dividende, et il ne saurait être moindre que le diviseur 8 ; on obtiendra donc la partie du dividende 4,536, qui contient le produit du premier chiffre à gauche du quotient par le diviseur 8, en prenant assez de chiffres sur la gauche de 4,536, pour que le nombre qui en résulte, considéré comme des unités simples, contienne au moins une fois le diviseur 8. Le nombre 45, qui satisfait à cette condition, est la partie du dividende qui renferme le produit du chiffre des plus hautes unités du quotient par le diviseur; et comme 45 exprime des centaines dans le dividende 4,536, on voit que les plus hautes unités du quotient seraient des centaines.

Il est d'ailleurs facile de s'en convaincre; car le diviseur 8, multiplié par le quotient cherché, doit reproduire le dividende 4,536. Ce dividende est compris entre 800 et 8,000, c'est-à-dire entre 8×100 et 8×1000 ; le quotient de 4,536 par 8 est donc compris entre 100 et 1000; ses plus hautes unités sont donc des centaines.

Pour déterminer le chiffre des centaines du quotient, on observe que le nombre 45 étant composé du produit des centaines du quotient par le diviseur 8, et de la retenue des centaines qui peut avoir été fournie en multipliant les dizaines et les

unités du quotient par le diviseur, il en résulte que si cette retenue est moindre que le diviseur 8, le plus grand multiple du diviseur 8 contenu dans 45 exprimera nécessairement le produit du premier chiffre du quotient par le diviseur 8. De sorte que la division de ce multiple par le diviseur 8 fournira le premier chiffre du quotient. Or, il est facile de prouver que la retenue des centaines (fournie par la multiplication des dizaines et des unités du quotient par le diviseur) est nécessairement moindre que le diviseur 8; car le nombre exprimé par les dizaines et les unités du quotient, étant toujours moindre que 100, la multiplication de ce nombre par le diviseur 8 fournit un produit moindre que 100 $\times$ 8 ou que 8 centaines.

Le plus grand multiple du diviseur 8, contenu dans le nombre 45 des centaines du quotient, étant 40, la division de 40 par 8 fournira le chiffre 5 des centaines du quotient.

Et en effet, le dividende 4,536 étant compris entre 40 et 48 centaines, c'est-à-dire 5 centaines $\times$ 8 et 6 centaines $\times$ 8, le quotient de 4,536 par 8 est compris entre 5 et 6 centaines; il est donc composé de 5 centaines plus d'un certain nombre de dizaines et d'unités.

Au lieu de diviser par 8 le plus grand multiple de 8 contenu dans 45, il revient au même de chercher combien 8 est contenu de fois dans 45; le résultat 5 est le chiffre des centaines du quotient.

Connaissant le chiffre 5 des centaines du quotient de 4536 par 8, pour trouver les dizaines et les unités de ce quotient, on observe que le dividende 4,536 étant composé des trois produits partiels des 5 centaines, des dizaines et des unités du quotient par le diviseur 8, si l'on retranche de ce dividende le produit 40 centaines des 5 centaines du quotient par le diviseur, le reste 536 ne renfermera plus que les deux produits partiels des dizaines et des unités du quotient par le diviseur. On peut donc considérer le premier reste 536 comme un nouveau dividende partiel, composé du produit du diviseur 8 par un quotient partiel, dont les dizaines et les unités sont celles du quotient total. La question est ainsi réduite à diviser 536 par 8, et l'on sait que les plus hautes unités de ce quotient sont les dizaines. Le produit des dizaines du quotient par le diviseur 8 ne pouvant se trouver que dans les 53 dizaines du dividende partiel 536, et la multiplication du chiffre des unités du quotient par le diviseur 8, donnant une retenue de dizaines moindre que 10 $\times$ 8 ou que 8

dizaines, on obtiendra le chiffre des dizaines du quotient, en cherchant combien le diviseur 8 est contenu de fois dans 53, ce qui donne 6; le chiffre des dizaines du quotient total est donc 6; retranchant 8 fois 6 dizaines ou 48 dizaines de 536, le reste 56 exprime le produit du diviseur 8 par le chiffre des unités du quotient; on obtiendra donc ce chiffre en divisant 56 par 8, ce qui donne 7; retranchant 7 fois 8 de 56, on trouve zéro pour dernier reste.

Le reste zéro indique que le quotient 567 est exact, c'est-à-dire que 4536 est le produit de 567 par 8, car on est parvenu au reste zéro en retranchant successivement du dividende les produits des 5 centaines, 6 dizaines, 7 unités du quotient, par le diviseur 8, ce qui revient à ôter du dividende 4,536, le produit de 567 par 8, le reste étant zéro.

4,536 est le produit exact de 567 par 8.

Quand on a acquis quelque habitude de la division par un nombre d'un seul chiffre, on se dispense d'écrire les dividendes partiels. Ainsi dans notre exemple, pour trouver les chiffres du quotient de 4,536 par 8, on dit: le huitième de 45 centaines est 5 centaines pour 40 centaines; je pose les 5 centaines au quotient; il reste 5 centaines ou 50 dizaines, qui, jointes aux 3 dizaines du dividende, donnent 53 dizaines, dont le huitième est 6 dizaines pour 48 dizaines; j'écris les 6 dizaines au quotient, il reste 5 dizaines ou 50 unités, qui, jointes aux 6 unités du dividende, donnent 56 dont le huitième est 7, sans reste; je pose 7 au quotient, ce qui fournit le quotient total 567.

Enfin on abrège le discours en disant : le huitième de 45 est de 5 pour 40, je pose 5 et je retiens 5; le huitième de 53 est 6 pour 48, j'écris 6 et je retiens 5; le huitième de 56 est 7, que je pose; et comme cette dernière division se fait sans reste, le quotient exact est 567:

Soit proposé de diviser 472,878 par 567, on dispose le calcul de la manière suivante :

472878	567
4536	834
19278	
1701	
2268	
2268	

Pour déterminer le chiffre des plus hautes unités du quotient, on raisonne comme dans l'exemple précédent, et on cherche d'abord la partie du dividende qui renferme le produit du chiffre cherché par le diviseur. Ce produit est composé d'unités de même ordre que celles du chiffre demandé, il doit se trouver dans le dividende, et il ne saurait être moindre que le diviseur; on obtiendra donc la partie du dividende 472,878, qui contient le produit du premier chiffre à gauche du quotient, par le diviseur, en prenant assez de chiffres sur la gauche de 472,878, pour que le nombre qui en résulte, considéré comme des unités simples, contienne au moins une fois le diviseur 567. Le nombre 4,728, qui satisfait à cette condition, est la partie du dividende qui renferme le produit du chiffre des plus hautes unités du quotient par le diviseur; et comme 4,728 exprime des centaines dans le dividende 472,878, on voit que les plus hautes unités du quotient sont des centaines.

Et, en effet, le dividende 472,878 étant compris entre 56,700 et 567,000, c'est-à-dire entre 567 × 100 et 567 × 1000, le quotient de 472,878 par 567 est compris entre 100 et 1000; les plus hautes unités du quotient sont donc des centaines.

Pour trouver le chiffre des centaines du quotient, on observe que le nombre 4,728 étant composé du produit des centaines du quotient par le diviseur 567, et de la retenue des centaines qui peut avoir été fournie en multipliant les dizaines et les unités du quotient par le diviseur, il en résulte que si cette retenue est moindre que le diviseur 567, le plus grand multiple du diviseur contenu dans 4,728 sera le produit du chiffre demandé par le diviseur, de sorte qu'on obtiendra ce chiffre en cherchant combien de fois le diviseur 567 est contenu dans le premier dividende partiel 4,728. Or, la retenue de centaines (fournie par la multiplication des dizaines et des unités du quotient par le diviseur) est nécessairement moindre que le diviseur 567; car les dizaines et les unités du quotient formant toujours un nombre moindre que 100, la multiplication de ce nombre par le diviseur 567 donne un produit moindre que 100 × 567, ou que 567 centaines.

Par conséquent, si l'on cherche combien de fois 567 est contenu dans 4,728, le nombre 8, que l'on obtiendra, sera le chiffre cherché des centaines du quotient; et, en effet, le dividende 47 tombant entre 800 × 567 et 900 × 567, le quotient de 472,878 par 567 est compris entre 800 et 900; le quotient

est donc composé de 8 centaines, plus d'un certain nombre de dizaines et d'unités.

Pour trouver combien de fois 567 est contenu dans 4,728, on peut former les produits de 567 par les nombres 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, et l'on voit que 4,728 tombe entre 567 $\times$ 8 et 567 $\times$ 9; de sorte que le nombre cherché est 8. Mais dans la pratique on se dispense de calculer les différents multiples du diviseur, et l'on parvient au même résultat à l'aide d'un tâtonnement que nous allons indiquer. Le dividende partiel 4,728 contient les 3 produits partiels des 7 unités des 6 dizaines et des 5 centaines du diviseur 567, par le nombre cherché, et le dernier de ces produits exprimant des centaines, ne peut se trouver que dans les 47 centaines de 4,728. Par conséquent 47 est composé du produit des premiers chiffres du diviseur par le nombre cherché, et des retenues des centaines qui peuvent avoir été fournies par les deux autres produits partiels; il en résulte que, si l'on cherche combien de fois 5 est contenu dans 47, le nombre 9 qu'on obtiendra exprimera le nombre cherché ou un nombre trop grand, mais jamais un nombre trop petit. Pour essayer 9, on multiplie 567 par 9; le produit 5,103 surpassant 4,728, on voit que 9 est trop fort. Pour essayer 8, on forme le produit 4,536 de 567 par 8; ce produit étant moindre que 4,728, on est certain que le diviseur 567 est contenu 8 fois dans 4,728.

Connaissant le chiffre 8 des centaines du quotient, pour obtenir les deux autres chiffres de ce quotient, on observe que le dividende 472,878 étant composé des trois produits partiels des 8 centaines, des dizaines et des unités du quotient par le diviseur 567, si l'on retranche de ce dividende le premier produit partiel 567 fois 8 centaines, ou 8 fois 567 centaines, ou 4,536 centaines, le reste 19,278 ne contiendra plus que les produits des dizaines et les unités du quotient par le diviseur; on peut donc considérer le premier reste 19,278 comme un nouveau dividende partiel formé du produit du diviseur 567 par un quotient partiel, dont les dizaines et les unités sont celles du quotient total.

La question est ainsi réduite à diviser 19,278 par 567, et l'on sait d'avance que les plus hautes unités de ce quotient sont des dizaines. Pour trouver ces dizaines, on observe que leur produit par le diviseur 567 se trouve dans les 1,927 dizaines du dividende 19,278. D'ailleurs la retenue de dizaines, fournie

par la multiplication du chiffre des unités du quotient par le diviseur 567, est moindre que 10 × 567, ou que 567 dizaines. On obtiendra donc le chiffre des dizaines du quotient en cherchant combien de fois 567 est contenu dans 1,927. A cet effet, on détermine combien de fois 3 est contenu dans 19; le nombre 3 qu'on obtient exprime le chiffre des dizaines du quotient, ou un chiffre trop fort. Pour essayer le chiffre 3, on multiplie 567 par 3. Le produit 1,701 étant moindre que 1,927, le chiffre des dizaines du quotient est 3. Le produit 1,701 exprimant des dizaines, on retranche 1,701 dizaines de 19,278; le reste 2,268 étant le produit du diviseur par le chiffre des unités du quotient, on obtiendra ce chiffre en divisant 2,268 par 567, ou, ce qui est plus simple, en divisant 22 par 5. Le nombre 4 que l'on obtient exprime les unités du quotient total; car en retranchant 4 fois 567 de 2,268, le reste est zéro. Le quotient demandé est donc 834.

Dans la pratique on n'écrit que les chiffres nécessaires à la formation des dividendes partiels 4,728, 1,927, 2,268; de sorte que le calcul s'exécute de cette manière abrégée :

472878	567
4536	834
1927	
1701	
2268	
2268	
0	

Le premier dividende partiel 4,728 contenant 8 fois le diviseur 567, on pose 8 au quotient; on ôte 8 fois 567 ou 4,536 de 4,728, et à la droite du reste 192, on abaisse le chiffre 7 du dividende, ce qui fournit le deuxième dividende 1,927, que l'on divise par 567; le quotient 3 est le deuxième chiffre du quotient demandé. On retranche 3 fois 567 ou 1,701 de 1,927, et à la droite du reste 226 on abaisse le dernier chiffre 8 du dividende, ce qui donne le troisième dividende partiel 4268 que l'on divise par 567. Le quotient 4 est le dernier chiffre du quotient total. On ôte 4 fois 567 de 2,268, ce qui détermine le dernier reste zéro.

Les raisonnements précédents conduisent à cette règle géné-

rale : Pour diviser un nombre par un autre, écrivez le diviseur à la droite du dividende, et placez un trait entre ces nombres ; mettez un autre trait sous le diviseur pour le séparer du quotient demandé, que vous poserez dessous. Prenez assez de chiffres sur la gauche du dividende pour que le nombre qui en résulte contienne le diviseur ; cherchez le nombre qui exprime combien de fois ce dividende partiel contient le diviseur. Ce nombre sera le premier chiffre à gauche du quotient ; écrivez le premier chiffre du quotient sous le diviseur ; multipliez le diviseur par ce chiffre, et mettez le produit sous le premier dividende ; placez un trait sous ces nombres et retranchez-les l'un de l'autre ; écrivez le reste au-dessous, et abaissez à sa droite le premier des chiffres du dividende qui n'ont pas encore été employés, vous obtiendrez un nouveau dividende partiel sur lequel vous opérerez comme sur le précédent ; ce qui déterminera le deuxième chiffre du quotient que vous écrirez à la suite du premier. Vous répéterez les mêmes opérations jusqu'à l'entier épuisement des chiffres du dividende. Lorsqu'un dividende partiel sera moindre que le diviseur, le chiffre correspondant du quotient sera un zéro.

Dans le cours d'une division le dividende est égal au produit du diviseur par le quotient obtenu, plus le reste qui correspond à ce quotient partiel.

En effet, on est parvenu à ce reste en ôtant successivement du dividende les produits partiels du diviseur par les chiffres trouvés au quotient; ce qui revient à retrancher du dividende le produit total du diviseur par le quotient obtenu ; le reste correspondant à ce quotient exprime donc l'excès du dividende sur le produit du diviseur par le quotient déjà obtenu.

Nous avons supposé dans les exemples précédents que le dividende était le produit du diviseur par un nombre entier, et dans ce cas la division a conduit à un dernier reste égal à zéro. Mais cette condition n'est pas toujours satisfaite. Quand on divise deux nombres quelconques l'un par l'autre, il arrive souvent que le dividende n'est pas le produit du diviseur par un nombre entier ; dans ce cas, on parvient à un dernier reste (moindre que le diviseur) qui n'est pas nul. Le dividende étant égal au produit du diviseur par le nombre entier obtenu au quotient, plus le dernier reste, et ce reste étant moindre que le diviseur, on est certain que le dividende est compris entre le produit du diviseur par le nombre entier obtenu au quotient,

et le produit du diviseur par le nombre entier obtenu au quotient augmenté d'une unité. Le quotient total est donc compris entre le nombre entier qui a été obtenu au quotient, et ce nombre entier augmenté d'une unité. On dit, par ce motif, que le nombre entier obtenu au quotient est la plus petite valeur entière approchée du quotient demandé, ou la partie entière du quotient.

On dit qu'un nombre est divisible par un autre quand la division se fait sans reste. Ainsi 12 est divisible par 3, car la division fournit le quotient exact 4, et le reste est zéro.

Pour diviser un nombre par le produit de plusieurs facteurs, il suffit de diviser successivement par les facteurs du produit.

Pour faire la preuve de la division, il suffit de multiplier le diviseur par le nombre entier obtenu au quotient, et d'ajouter le dernier reste à ce produit; la somme doit être égale au dividende. Quand le dividende augmente ou diminue d'un certain nombre de fois le diviseur, la partie entière du quotient augmente ou diminue du même nombre de fois l'unité; mais le reste de la division ne change pas, car la partie entière du quotient indique combien de fois le diviseur est contenu dans le dividende.

Quand on multiplie le dividende et le diviseur par un nombre donné, et qu'on divise les produits l'un par l'autre, la partie entière du quotient ne change pas; mais le reste de cette nouvelle division est égal au reste de la division précédente, multiplié par le nombre donné.

CHAPITRE II.

PROPRIÉTÉS RELATIVES AUX DIVISEURS DES NOMBRES. DU PLUS GRAND COMMUN DIVISEUR. DES NOMBRES PREMIERS. RECHERCHES DES DIVISEURS DES NOMBRES.

Quand plusieurs nombres ont un diviseur commun, leur somme a le même diviseur; car le quotient de chaque nombre par le diviseur commun étant un nombre entier, la réunion de ces quotients partiels est un nombre entier qui exprime le quo-

tient total de la division de la somme des nombres proposés par le diviseur commun.

Tout diviseur d'un nombre divise les multiples de ce nombre.

La somme de plusieurs multiples d'un nombre est un multiple de ce nombre.

Quand une somme est composée de deux parties, tout nombre qui divise la somme et la première partie divise nécessairement la deuxième partie; car la différence entre la somme et la première partie étant égale à la deuxième partie, si l'on divise la somme et la première partie par leur diviseur commun, les deux quotients seront des nombres entiers, et leur différence, qui sera un nombre entier, exprimera le quotient de la deuxième partie par le diviseur commun. Ce dernier quotient sera donc effectivement un nombre entier.

La différence entre deux multiples d'un nombre est un multiple de ce nombre.

Quand on combine plusieurs multiples d'un nombre par voie d'addition et de soustraction, le résultat est un multiple du même nombre.

Quand une somme est composée de deux parties, dont l'une est divisible par un nombre, et dont l'autre n'admet pas ce diviseur, la somme proposée n'est pas divisible par ce diviseur.

Un nombre n'est jamais divisible par un autre plus grand que sa moitié.

Le reste de la division d'un nombre par 2 est le même que celui de la division de son premier chiffre à droite par 2.

Le reste de la division d'un nombre par 5 est le même que celui de la division de son premier chiffre à droite par 5.

Pour trouver le reste de la division d'un nombre par 9, il suffit d'additionner les chiffres du nombre proposé; quand la somme de ces chiffres est moindre que 9, elle exprime le reste cherché. Quand elle surpasse 9, on opère sur elle comme sur le nombre proposé en additionnant les chiffres; ainsi de suite jusqu'à ce qu'on parvienne à une somme qui n'excède pas 9. Si cette somme est égale à 9, le reste est zéro; ce qui indiquera que le nombre donné est exactement divisible par 9.

Cela est évident si l'on remarque que :

$$10 = 9 + 1, \quad 100 = 99 + 1, \quad 1000 = 999 + 1, \text{ etc.}$$

Un nombre est dit premier quand il n'est divisible que par lui-même et par l'unité.

Deux nombres sont dits premiers entre eux quand ils n'ont pas de facteur commun.

Le plus grand de tous les diviseurs communs à deux nombres est ce qu'on nomme leur plus grand commun diviseur. Nous allons faire voir comment on peut trouver le plus grand commun diviseur de deux nombres.

Pour fixer les idées, considérons 48 et 18. Leur plus grand commun diviseur ne pouvant surpasser 18, on est conduit à diviser 48 par 18; car, dans le cas où la division réussirait, 18 serait le plus grand commun diviseur demandé. Ici on trouve $48 = 18 \times 2 + 12$.

Il résulte de ce que nous avons déjà établi, que le plus grand commun diviseur de 48 et 18 est le même que celui de 18 et 12. En effet, le plus grand commun diviseur à 48 et 18 divise la somme 48 et 18×2, qui est l'une de ses parties; il doit donc diviser l'autre partie 12. Divisant 18 et 12, il ne peut surpasser le plus grand commun diviseur de 18 et 12; mais le dernier divisant 12 et 18×2 divise la somme 48, il divise donc 48 et 18; il ne peut donc surpasser le plus grand commun diviseur de 48 et 18. Ces deux plus grands communs diviseurs ne pouvant être plus grands l'un que l'autre sont égaux.

Les mêmes raisonnements étant applicables à des nombres quelconques, on voit que tout diviseur commun à deux nombres divise le reste de leur diviseur, et que le plus grand commun diviseur de deux nombres est le même que celui qui existe entre le plus petit de ces nombres et le reste de la division du plus grand nombre par le plus petit.

La question est ainsi réduite à trouver le plus grand commun diviseur de 18 et 12; or

$$18 = 12 \times 6:$$

donc le plus grand commun diviseur est 6.

En général pour diviser le plus grand commun diviseur de deux nombres, divisez le plus grand par le plus petit; si le reste est zéro, le plus petit nombre sera le plus grand commun diviseur cherché; s'il y a un reste, divisez le plus petit des nombres proposés par ce premier reste; si le reste de cette division est zéro, le premier reste sera le diviseur cherché, dans le cas contraire continuez à diviser les restes successifs les uns par les autres, jusqu'à ce que vous parveniez à un quotient exact; le reste qui divisera exactement le reste précédent sera le plus grand commun diviseur cherché.

Le nombre de divisions à effectuer pour obtenir le plus grand commun diviseur, ne peut jamais excéder la moitié du plus petit des deux nombres proposés; car à chaque division les restes successifs diminuent au moins de deux unités.

Pour trouver le plus grand commun diviseur de plusieurs nombres, il suffit de chercher successivement le plus grand commun diviseur entre le premier et le deuxième, entre le plus grand commun diviseur obtenu et le troisième nombre, et ainsi de suite.

Pour décomposer un nombre en ses facteurs premiers, on le divise nécessairement par chacun des nombres premiers 2,3,5, etc., qui n'excèdent pas sa moitié, jusqu'à ce qu'on obtienne un quotient exact. On divise ce quotient par le nombre premier qui a servi de diviseur. Si le nouveau quotient est exact, on le divise par le même nombre premier, et on continue ces divisions jusqu'à ce qu'on obtienne un quotient qui ne soit plus divisible par le nombre premier qui a servi de diviseur. On opère ensuite sur le dernier quotient obtenu comme sur le nombre proposé, en observant que ce quotient ne peut être divisible que par des nombres premiers plus grands que celui qui a servi de diviseur; on continue ces calculs jusqu'à ce qu'on parvienne à un quotient qui soit un nombre premier. Le nombre proposé est égal au produit de ce dernier quotient par tous les nombres qui ont servi de diviseur.

CHAPITRE III.

DES FRACTIONS ORDINAIRES. DES FRACTIONS DÉCIMALES.

§ Ier. FRACTIONS ORDINAIRES.

Nous avons vu que quand la division conduit à un reste qui n'est pas nul, le quotient total n'est pas assignable exactement en nombre entier.

Par exemple le quotient de 25 par 7 étant plus grand que 3 et moindre que 4, ne peut être exprimé par un nombre entier.

Pour prendre une idée exacte de ce quotient, on observe que 25 étant égal à 21 plus 4, on obtiendra le quotient de 25 par 7 en réunissant celui de 21 par 7 à celui de 4 par 7. Or le quotient de 21 par 7 est 3; il reste donc à diviser 4 par 7. Pour évaluer ce dernier quotient, on conçoit l'unité divisée en 7 parties égales; chacune de ces parties exprime le quotient de 1 par 7, puisque l'une d'elles prise 7 fois donne le dividende 1; mais 4 est égal à 1 plus 1 plus 1 plus 1; on obtiendra donc le quotient de 4 par 7 en prenant 4 fois le septième de 1, de sorte que le septième de 4 est la même chose que 4 fois le septième de 1. Ajoutant les deux quotients partiels de 21 par 7 et de 4 par 7, on voit que le quotient total de 25 par 7 est formé de 3 unités, plus de 4 des 7 parties égales dont on peut concevoir l'unité composée.

La partie qu'on ajoute aux unités du quotient, étant toujours moindre que l'unité, a reçu le nom de fraction.

Pour écrire la fraction qui exprime le quotient du dernier reste par le diviseur, on place le diviseur sous ce reste et on sépare ces deux nombres par un trait; ainsi le quotient de 25 par 7 est 3 plus $\frac{4}{7}$ ou simplement $3\frac{4}{7}$. Pour énoncer les fractions, on donne des noms particuliers aux diverses subdivisions de l'unité, et lorsque l'unité est divisée en 2, 3, 4 parties égales, chacune de ces parties est appelée un demi, un tiers, un quart. Quand l'unité est divisée en plus de 4 parties égales, on forme le nom de chaque partie en ajoutant la terminaison ième au mot qui désigne le nombre de ces parties.

Comme dans une fraction le nombre inférieur sert à dénommer l'espèce des parties qui entrent dans la fraction, et comme le nombre supérieur en désigne le nombre, le premier s'appelle dénominateur, l'autre numérateur. Le numérateur et le dénominateur sont les deux termes de la fraction. Ainsi $\frac{3}{4}$ s'énonce trois quarts; $\frac{7}{8}$ s'énonce sept huitièmes; 3 et 7 sont les numérateurs, 4 et 8 les dénominateurs.

Une fraction ne change pas de valeur quand on multiplie ou quand on divise ses deux parties par un même nombre. Cela est évident.

Pour réduire plusieurs fractions au même dénominateur, sans

changer leur valeur, il suffit de multiplier les deux termes de chacune d'elles par le produit des dénominateurs de toutes les autres. Cela est aussi évident.

Pour comparer entre elles les grandeurs de plusieurs fractions, il suffit de les réduire au même dénominateur.

On dit qu'une fraction est irréductible quand elle ne peut se réduire en une forme plus simple, c'est-à-dire quand elle ne peut être exprimée exactement par aucune fraction équivalente, ayant des termes respectivement moindres.

Il suit de cette définition que les deux termes d'une fraction irréductible n'ont jamais de facteur commun.

Pour réduire une fraction à sa plus simple expression, il suffit de diviser ses deux termes par leur plus grand commun diviseur.

L'addition de plusieurs fractions de même dénominateur s'effectue en formant la somme des numérateurs, et en donnant pour dénominateur à cette somme celui des fractions proposées.

La soustraction de deux fractions de même dénominateur s'effectue en prenant la différence entre les numérateurs et en l'affectant du dénominateur commun.

Pour ajouter ou soustraire des fractions qui ont des dénominateurs différents, on les réduit d'abord au même dénominateur et on opère comme on vient de l'indiquer.

La multiplication des fractions présente deux cas:

1° Quand le multiplicande est une fraction et le multiplicateur un nombre entier, le produit s'obtient en multipliant le numérateur ou en divisant le dénominateur par ce nombre entier.

2° Quand le multiplicande étant un nombre entier ou une fraction, le multiplicateur est une fraction, on ne peut plus considérer la multiplication comme une addition abrégée. Il faut généraliser le sens attaché au mot multiplier.

Nous considérerons donc la multiplication comme ayant pour but de calculer un nombre nommé produit, qui soit composé avec un nombre connu nommé multiplicande, de la même manière qu'un nombre donné nommé multiplicateur est composé avec l'unité.

Nous allons déduire de cette définition que le produit de plusieurs fractions est exprimé par une fraction dont le numérateur est le produit des numérateurs des fractions proposées, et dont le dénominateur est le produit des dénominateurs des premières fractions.

En effet, soit proposé de multiplier $\frac{2}{3}$ par $\frac{4}{5}$; le multiplicateur $\frac{4}{5}$ étant composé de 4 fois la cinquième partie de l'unité, le produit de $\frac{2}{3}$ par $\frac{4}{5}$ sera composé de 4 fois la cinquième partie de $\frac{2}{3}$; or on obtient le cinquième de $\frac{2}{3}$ en divisant $\frac{2}{3}$ par 5, et les raisonnements précédents démontrent que le quotient est $\frac{2}{3 \times 5}$; on obtiendra donc 4 fois la cinquième partie de $\frac{2}{3}$ ou les $\frac{4}{5}$ de $\frac{2}{3}$ en répétant 4 fois la fraction $\frac{2}{3 \times 5}$, ce qui se réduit, comme on vient de le voir, à multiplier le numérateur par 4. Le produit de $\frac{2}{3}$ par $\frac{4}{5}$ est donc $\frac{2 \times 4}{3 \times 5}$.

Pour multiplier 7 par $\frac{4}{5}$, il suffit de prendre les $\frac{4}{5}$ de 7; si $\frac{1}{5}$ de 7 est $\frac{7}{5}$, les $\frac{4}{5}$ de 7 valent donc 4 fois $\frac{7}{5}$ ou $\frac{7 \times 4}{5}$.

Quand il s'agit de faire le produit de nombres entiers et de fractions, on peut appliquer la règle précédente, en considérant les nombres entiers comme les numérateurs de fractions, ayant pour dénominateurs l'unité; mais il est plus simple dans la pratique d'effectuer d'abord le produit des fractions, et de le multiplier ensuite par le produit des nombres entiers.

Le produit de plusieurs fractions conserve sa valeur dans quelque ordre qu'on effectue la multiplication, car le numérateur et le dénominateur étant des nombres entiers, le produit du numérateur sera le même ainsi que celui du dénominateur, et ces produits sont les deux termes de la fraction qui exprime le produit des fractions proposées.

Selon que le multiplicateur est plus grand ou est plus petit que le reste, le produit est plus grand ou est plus petit que le multiplicande.

Quand le dividende est une fraction, et le diviseur un nom-

bre entier, le quotient s'obtient en multipliant le dénominateur ou en divisant le numérateur par ce nombre entier.

Quand le dividende étant un nombre entier ou une fraction, le diviseur est une fraction, on obtient le quotient en multipliant le dividende par la fraction diviseur renversée.

On en déduit que pour diviser l'une par l'autre deux fractions de même dénominateur, il suffit de diviser le numérateur de la première par celui de la seconde.

Pour transformer un nombre entier en une fraction qui ait un dénominateur donné, on multiplie le nombre entier par le dénominateur; le produit exprime le numérateur de la fraction demandée.

Pour trouver les unités contenues dans un nombre fractionnaire, on effectue la division du numérateur par le dénominateur.

§ II. DES FRACTIONS DÉCIMALES.

Une fraction est dite décimale quand son dénominateur est l'unité suivie de plusieurs zéros.

Ainsi $\frac{7}{10}$, $\frac{47}{100}$ sont des fractions décimales.

Le système adopté pour écrire les nombres entiers, fournit le moyen de mettre les fractions décimales sous la forme de nombre entier. Car, d'après ce système, les différents chiffres d'un nombre exprimant des unités de dix en dix fois plus petites, à mesure qu'on avance d'un rang vers la droite, il en résulte que, si l'on place des chiffres à la droite du chiffre des unités, le premier de ces chiffres exprimera des dixièmes d'unités, le deuxième des centièmes, etc.

Pour distinguer le chiffre des unités, nous plaçons à sa droite une virgule de cette forme (,).

Cela posé, si l'on veut écrire la fraction décimale $\frac{547}{100}$ sous la forme d'un nombre entier, on observera qu'elle se décompose en

$$\frac{500}{100}+\frac{40}{100}+\frac{7}{100} \text{ ou } 5 \text{ unités} + \frac{4}{10} + \frac{7}{100}$$

et que par conséquent on peut écrire 5,47. En général pour mettre une fraction décimale sous la forme d'un nombre entier,

on écrit le numérateur et on sépare, à l'aide de la virgule, autant de chiffres sur la droite de ce numérateur, qu'il y a de zéros dans le dénominateur.

Les chiffres placés à la droite de la virgule sont les chiffres décimaux ou les décimales, ils composent la partie décimale; et les chiffres qui sont à gauche de la virgule forment la partie entière; quand il n'y en a pas, on met un zéro pour en tenir la place.

Pour transformer un nombre décimal en fraction ordinaire, on prend une fraction dont le numérateur est le nombre décimal, abstraction faite de la virgule, et dont le dénominateur est l'unité suivie d'autant de zéros qu'il y a de chiffres à droite de la virgule.

Pour énoncer un nombre décimal on peut le séparer arbitrairement en plusieurs tranches, et énoncer ensuite chaque tranche comme si elle était seule, en ajoutant le nom de l'ordre des unités, du premier chiffre à droite de la dernière tranche.

Pour écrire un nombre décimal énoncé, on pose successivement, à partir de la gauche, le nombre d'unités de chaque espèce indiqué dans l'énoncé du nombre proposé, en mettant des zéros à la place des unités intermédiaires qui peuvent manquer, et on pose ensuite la virgule à la droite du chiffre des unités, de manière que chaque chiffre occupe le rang qui convient à l'espèce de ses unités.

Tout nombre entier peut être considéré comme un nombre décimal, en plaçant la virgule à la droite du chiffre décimal, et en mettant des zéros à la suite de la virgule.

Un nombre décimal ne change pas de valeur quand on met ou quand on supprime des zéros à la droite de la virgule.

Selon qu'on avance la virgule d'un rang ou de deux rangs vers la droite d'un nombre décimal, on rend ce nombre 10 fois ou 100 fois plus grand.

Selon qu'on recule la virgule d'un rang ou de deux rangs vers la gauche, on rend ce nombre 10 fois ou 100 fois plus petit.

L'addition et la soustraction des nombres décimaux s'effectuent comme celles des nombres entiers, en ayant soin de placer les nombres de même grandeur les uns sur les autres.

La multiplication des nombres décimaux s'effectue comme s'il n'y avait pas de virgule, et l'on sépare ensuite autant de décimales à la droite du produit qu'il y a de chiffres décimaux dans tous les facteurs; le résultat exprime le produit demandé.

En effet, chaque facteur est équivalent à une fraction dont le

numérateur est le facteur dans lequel on fait abstraction de la virgule, et dont le dénominateur est l'unité suivie d'autant de zéros qu'il y a de décimales dans ce facteur. Le produit demandé est égal à une fraction dont le numérateur est le produit de tous les nombres entiers qui résultent de la suppression de la virgule dans les fractions proposées, et dont le dénominateur est l'unité suivie d'autant de zéros qu'il y a de décimales dans tous les facteurs. Pour convertir cette fraction en décimales, il suffit d'écrire son numérateur, et de séparer autant de chiffres décimaux à la droite qu'il y a de zéros dans le dénominateur; mais il y a autant de zéros dans le dénominateur qu'il y a de décimales dans tous les facteurs, le principe est donc démontré.

Ainsi on trouve que :

$$3{,}57 \times 2{,}4 = \frac{357}{100} \times \frac{24}{10} = \frac{8568}{1000} = 8{,}568.$$

La division de deux nombres décimaux présente deux cas : Quand le dividende et le diviseur contiennent le même nombre de décimales, on obtient le quotient en effectuant la division comme s'il n'y avait pas de virgule, car la suppression de la virgule revient à multiplier le dividende et le diviseur par un même nombre, ce qui ne change pas le quotient.

Quand le dividende et le diviseur ne contiennent pas le même nombre de décimales. on ramène ce cas au précédent, en plaçant des zéros à la droite du nombre qui contient le moins de décimales.

Car, en opérant ainsi, on ne change pas la valeur du dividende et du diviseur.

Le calcul des nombres décimaux étant beaucoup plus simple que celui des fractions, il est naturel de chercher à convertir les fractions en décimales.

Nous avons vu comment on opère cette conversion quand le dénominateur est l'unité suivie de plusieurs zéros.

Quand le dénominateur de la fraction proposée n'est pas l'unité suivie de plusieurs zéros, on effectue la division du numérateur par le dénominateur, et l'on place une virgule à la droite du nombre entier du quotient. Pour trouver les autres chiffres du quotient, on convertit les restes successifs en dixièmes, centièmes, etc.; les chiffres qu'on trouve à la suite des unités du quotient expriment les dixièmes, les centièmes, etc., du nombre dé-

cimal équivalant à la fraction proposée. Soit la fraction $\frac{677}{49500}$, on trouve qu'elle est exprimée par 0,0136767, etc.

Les fractions décimales dans lesquelles plusieurs chiffres se répètent dans le même ordre et à l'infini, sont appelées fractions décimales périodiques, et la partie décimale qui se reproduit périodiquement s'appelle la période.

Quand la période commence au chiffre des dixièmes, la fraction est dite périodique simple; quand elle ne commence qu'après un certain nombre de décimales, elle est périodique mixte.

0,272727.. est une fraction périodique simple,

0,03676767... est une fraction décimale périodique mixte.

Les fractions décimales périodiques peuvent toujours être converties en fractions ordinaires. En effet, soit la fraction décimale périodique simple 0,2727 ; si l'on pouvait en déduire une autre expression composée de la même partie périodique, en retranchant ces deux expressions l'une de l'autre, la partie périodique disparaîtrait, et il serait facile d'en déduire la valeur de la fraction périodique proposée.

Pour y parvenir, on désigne par x la valeur de 0,2727; on a

$$100 \text{ fois } x = 27,2727$$
$$1 \text{ fois } x = 0,2727.$$

Retranchant, on trouve $99\,x = 27$. Donc $x = \frac{27}{99}$. Pour convertir une fraction décimale périodique mixte en fraction ordinaire, on place successivement la virgule à droite et à gauche de la période; ce qui donne deux nombres composés de la même partie périodique. La différence entre ces nombres ne contenant plus la partie périodique, il est facile d'en déduire la valeur de la fraction proposée.

Par exemple, soit l'expression 8,0136767..., dans laquelle la période est 67, on a

$$100000 \text{ fois } x = 801367,6767...$$
$$1000 \text{ fois } x = 8013,6767...$$

Retranchant 1000 fois x de 100000 fois x, et observant que les périodes disparaissent, on trouve que

$$99000 \text{ fois } x = 801367 - 8013$$

D'où $x = \frac{801367 - 8013}{99000}$

La comparaison de cette valeur de x avec le nombre 8,0136767 conduit à la règle suivante. Pour convertir une fraction décimale périodique mixte en fraction ordinaire, transportez successivement la virgule à droite et à gauche de la première période.

La différence entre les parties entières des nombres décimaux qui en résultent exprime le numérateur de la fraction demandée. Pour former le dénominateur, prenez un nombre composé d'autant de 9 qu'il y a de chiffres dans la période, et mettez autant de zéros à la droite de ce nombre qu'il y a de chiffres entre la virgule et la première période.

Quand le dénominateur n'étant pas l'unité suivie de plusieurs zéros, ne contient que les facteurs 2 et 5 de la base 10, la fraction peut toujours s'exprimer exactement en décimales.

Quand le dénominateur d'une fraction ordinaire contient d'autres facteurs que 2 et 5, la fraction ne peut pas se réduire exactement en décimales, et le quotient qui se prolonge indéfiniment est périodique.

Cela résulte de ce qui a été exposé précédemment.

CHAPITRE IV.

DES NOMBRES CONCRETS.

§ I. NOMENCLATURE ET CALCUL DES MESURES ANCIENNES.

Les anciennes mesures sont composées d'un grand nombre d'unités différentes. Les subdivisions de ces unités ne sont soumises à aucune loi constante.

Les longueurs s'évaluent en toises, les lieues en milles; la toise se divise en 6 parties égales que l'on nomme pieds; le pied se divise en 12 pouces, le pouce en 12 lignes, et la ligne en 12 points.

La circonférence du cercle se divise en 360 parties égales que l'on nomme degrés. Le degré se divise en 60 minutes, les minutes en 60 secondes, la seconde en 60 tierces, etc.

La longueur approchée de la circonférence de la terre est de 20522960 toises. On en déduit que la longueur du quart de la

circonférence de la terre est de 5130740 toises, et que la longueur d'un degré terrestre est la 90e partie de 5130740 toises, ou 57008^{t}, 2222.

La lieue et le mille servent à évaluer les distances itinéraires.

La lieue terrestre est la 25e partie d'un degré terrestre; elle vaut la 25e partie de $57008^{t}222$ ou 2280^{t}, 328.

Le degré terrestre valant 25 lieues terrestres, la circonférence de la terre, qui est de 360 degrés, vaut 360 fois 25 lieues, ou 9000 lieues terrestres.

La lieue marine, de 20 au degré, est la 20e partie de 57008^{t}, 22, ou 2850^{t}, 41.

La lieue de poste, de 2000 toises est de deux milles.

Les surfaces de peu d'étendue se mesurent avec des toises carrées, des pieds carrés, etc.

L'aune vaut 3 pieds 7 pouces 10 lignes 10 points.

L'aune carrée est une surface qui a une aune de long sur une de large. Sa longueur et sa largeur se divisent en tiers, sixièmes, douzièmes, en demies, quarts, etc.

Les surfaces des terrains s'évaluent en perches et en arpents. L'arpent vaut 100 perches.

La perche de Paris est un carré dont chaque côté a 18 pieds.

Les volumes s'évaluent en toises cubes, pieds cubes.

On mesure les matières sèches, telles que les grains, avec le setier, qui se divise en 12 boisseaux.

Pour mesurer les liquides, on fait usage du muid et de la pinte. Le muid vaut 288 pintes.

La livre poids vaut 2 marcs, le marc 8 onces, l'once 8 gros. le gros 3 deniers, le denier 24 grains.

100 livres poids valent 1 quintal.

§ II. CALCUL DES NOMBRES COMPLEXES ET INCOMPLEXES.

Les nombres concrets, composés d'unités de diverses grandeurs, sont dits complexes; et, par opposition, ceux qui ne renferment que des unités de même grandeur sont des nombres incomplexes.

Dans l'addition, comme dans la soustraction, les nombres sur lesquels on opère doivent être composés d'unités de même nature, et les unités du résultat sont toujours de même nature que celles des nombres sur lesquels on a opéré.

Dans la multiplication, le multiplicateur est abstrait, et les unités du produit sont de même nature que celles du multiplicande.

Dans la division, quand le dividende et le diviseur sont composés d'unités de même nature, le quotient est un nombre abstrait qui exprime combien de fois le diviseur est contenu dans le dividende. Quand le dividende est concret et le diviseur abstrait, le quotient est de la nature du dividende. La division sert alors à partager le dividende en autant de parties égales qu'il y a d'unités dans le diviseur, et le quotient exprime l'une de ces parties.

Quand un nombre est rapporté à une unité donnée pour le convertir en unités plus petites ou plus grandes, il suffit de multiplier ou de diviser le nombre de ces unités données par le nombre qui exprime combien il faut d'unités de la plus petite espèce pour en composer une de la plus grande.

Pour multiplier les nombres complexes par le nombre des unités et parties d'unités indiqué par un autre nombre complexe, il suffit d'effectuer successivement les produits du multiplicande par les différentes parties du multiplicateur et de faire la somme.

Le prix d'une toise étant	12 l.	2 s.	3 d.	
Trouver le prix de	12 t.	5 p.	8 p.	$\frac{2}{11}$
Prix de 12 toises,	145 l.	7 s.	2 d.	$\frac{2}{11}$
Prix de 5 pieds,	10	1	10	$\frac{43}{66}$
Prix de 8 pouces,	1	6	11	$\frac{2}{99}$
	156	15	11	$\frac{169}{198}$

Pour trouver le prix de 12 toises on multiplie le prix d'une toise par 12.

Pour calculer le prix de 5 pieds, on observe que 5 étant

les $\frac{5}{6}$ d'une toise, il suffit de prendre les $\frac{5}{6}$ du prix de la toise, etc.

Occupons-nous de la division de deux nombres complexes l'un par l'autre.

Une toise d'ouvrage coûte 9 s. 10 d. $\frac{14}{31}$, combien aura-t-on de toises pour 1 liv. 5 s. 6 d. ?

Le prix d'une toise, multiplié par le nombre de toises cherché, étant 1 liv. 5 s. 6 d., on obtiendra ce nombre de toises en divisant 1 liv. 5 s. 6 d. par 9 s. 10 d. $\frac{14}{31}$.

Pour ramener la question à diviser deux nombres entiers l'un par l'autre, on fait d'abord disparaître le dénominateur 31 en multipliant le dividende et le diviseur par 31, ce qui ne change pas le quotient. Les produits sont 39 liv. 10 s. 6 d., et 15 liv. 6 s. On fait disparaître successivement les deniers et les sous en multipliant ces produits par 12 et les résultats par 20, ce qui donne 1581 liv. et 612 liv. Le nombre de toises cherché étant $\frac{1581 \text{ liv.}}{612 \text{ liv.}}$ ou $\frac{1581}{612}$, on divise 1581 par 612; le quotient 2 toises 3 pieds 6 pouces est le résultat demandé.

§ III. NOMENCLATURE ET CALCUL DES MESURES NOUVELLES.

Mesures linéaires, de superficie, de volume, de poids, etc.

Pour déterminer l'unité de longueur nommée mètre, on a cherché la longueur de l'arc du méridien terrestre qui mesure la distance du pôle à l'équateur. Cette longueur a été trouvée de 5130740 toises. Sa dix millionième partie, qui est 0^t, 513074, exprime la longueur du mètre, de sorte qu'un mètre vaut 0^t, 513074, ou 3 pi. 0784.

Toutes les mesures dérivent du mètre.

On compose les mesures plus grandes ou plus petites que l'unité principale, en faisant précéder le nom de cette unité des mots :

Myria, kilo, hecto, déca, déci, centi, milli, qui signifient :

Dix mille, mille, cent, dix, dixième, centième, millième. Ainsi le myriamètre vaut dix mille mètres, le centimètre est un centième du mètre.

L'unité de surface est le mètre carré; l'are est un carré qui a dix mètres de côté.

L'unité de volume est le mètre cube.

Le litre est le décimètre cube. On compte par hectolitre, décalitre, décilitre, etc.

L'unité de poids est le gramme; il équivaut au centimètre cube d'eau distillée ramenée à son maximum de densité.

Pour ajouter ou retrancher deux nombres décimaux, on les écrit l'un au-dessous de l'autre, de manière à faire correspondre les unités de même espèce.

La multiplication et la division s'effectuent comme elle a été indiquée pour les nombres abstraits décimaux.

CHAPITRE V.

DES PUISSANCES ET DES RACINES DES NOMBRES.

§ I. DES PUISSANCES ET DES RACINES DES NOMBRES.

Le produit d'un nombre par lui-même se nomme le carré de ce nombre; et le nombre qui, multiplié par lui-même, fournit un nombre donné, est la racine carrée du nombre donné.

Ainsi, le carré de 7 est le produit 49 de 7 par 7, et la racine carrée de 49 est 7.

Pour indiquer le carré d'un nombre, on place le chiffre 2 à sa droite et un peu au-dessus; on désigne la racine carrée d'un nombre en mettant ce nombre sous le signe $\sqrt{}$. Ainsi 7^2 indique le carré de 7, et $\sqrt{49}$ désigne la racine carrée de 49.

Les carrés des nombres 1, 10, 100, etc., étant 1, 100, 10000, etc.; les nombres compris entre 1 et 100, entre 100 et 10000, etc., ont leurs racines comprises entre 1 et 10, entre 10 et 100, etc., par conséquent, quand le carré d'un nombre entier n'a pas plus

de deux chiffres, la racine carrée de ce carré n'a qu'un chiffre; quand le carré renferme trois ou quatre chiffres, la racine carrée en a deux, et ainsi de suite.

De la racine carrée des nombres entiers.

Les carrés des nombres d'un seul chiffre étant moindres que 100, on revient de ces carrés à leurs racines carrées, en faisant les carrés des 9 premiers nombres, et en voyant entre lesquels le nombre donné est placé.

Pour extraire la racine carrée d'un nombre entier plus grand que 100, nous chercherons d'abord comment les parties de la racine entrent dans le carré faisant le carré de 64.

64	
64	
16	unités, carré de 4 unités.
24	diz., produit des 6 diz. par les 4 unités.
24	diz., produit des 6 diz. par les 4 unités.
36	cent., carré des 6 dizaines.
4096	unités, carré de 64.

La même décomposition pourrait s'appliquer à tout nombre. On voit que le carré d'un nombre composé de dizaines et d'unités contient trois parties, savoir : le carré des dizaines, le double des dizaines multiplié par les unités et le carré des unités.

Nous allons voir comment on peut revenir du carré d'un nombre entier quelconque à la racine de ce carré.

Soit à extraire la racine carrée de 4096; on dispose le calcul de la manière suivante :

Carré. .	4096	64
	36	124 × 4 = 496
1er reste . .	496	
	496	
2e reste . .	0	

et l'on dit : le carré de 10 vaut 100, le carré des dizaines de la racine ne peut se trouver que dans les 40 centaines de 4096. On sépare par un point les deux premiers chiffres à droite de 40.96. 40 tombant entre 6^2 et 7^2, je dis que 6 est le chiffre des di-

zaines de la racine. En effet, 40 étant plus grand que 6^2, les 40 centaines de 4096 expriment un nombre plus grand que 6^2 centaines; donc, si l'on ajoute 96 unités à 40 centaines, la somme 3096 sera nécessairement plus grande que 6_2 centaines. D'ailleurs, 40 est moindre que 7^2; et l'excès de 7^2 sur 40 ne saurait être moindre qu'une unité; par conséquent 40 centaines exprime un nombre moindre que 7^2 centaines, et l'excès de 7^2 centaines sur 40 centaines ne saurait être moindre qu'une centaine. Ajoutant donc le nombre 96, qui est moindre qu'une centaine, la somme 4096 sera nécessairement moindre que 7^2 centaines. Le nombre 4096 est donc compris entre 6^2 centaines et 7^2 centaines, c'est-à-dire entre les carrés de 6 dizaines et de 7 dizaines; la racine carrée de 4096 est donc comprise entre 6 et 7 dizaines; elle est donc composée de 6 dizaines et d'un certain nombre d'unités moindre que 10. Pour obtenir ces unités, on retranche de 4096 le carré 36 centaines des 6 dizaines de la racine; le reste 496 ne renferme plus que le double de 6 dizaines de la racine, multiplié par les unités et le carré des unités. Le double des dizaines multiplié par les unités, exprimant des dizaines, ne peut le trouver que dans les 49 dizaines du reste 49.6. (On sépare par un point le premier chiffre à droite du reste 9). Ces 49 dizaines contiennent en outre les dizaines qui peuvent provenir du carré des unités; divisant donc 49 par 12 (double des dizaines de la racine), les 4 unités du quotient expriment le chiffre des unités de la racine, ou un chiffre trop fort. Pour essayer le chiffre 4, on pourrait ôter $(64)^2$ de 4096; le reste zéro indiquerait que 64 est la racine demandée; mais on parvient plus simplement au même résultat en observant que le reste 496 étant composé du double des 6 dizaines, multiplié par les 4 unités et du carré des 4 unités, il suffit de calculer la somme de ces deux parties et de l'ôter de 496. A cet effet, on écrit le chiffre 4 des unités à la droite de 12 (double du nombre des dizaines de la racine), ce qui donne 124. On multiplie 124 par 4; le résultat exprime la somme demandée. Retranchant 4 fois 124 de 496, le reste zéro indique que 64 est la racine exacte de 4096.

Le raisonnement qui a servi à déterminer les dizaines de la racine étant applicable à un nombre quelconque, on en conclut que la racine carrée du plus grand carré contenu dans les centaines d'un nombre quelconque, détermine toujours les dizaines de la racine carrée de ce nombre.

Si le nombre proposé renferme plus de 4 chiffres, en se laissant conduire par l'analogie, on voit qu'il faudra le diviser en tranches de deux chiffres, à partir de la droite, et qu'il faudra chercher le plus grand carré contenu dans la dernière tranche à gauche. La racine de ce plus grand carré exprimera la valeur du premier chiffre à gauche de la racine.

Le second chiffre, à partir de la gauche à la racine, devra être tel, que le carré du nombre formé par ces deux chiffres soit le plus grand carré contenu dans les deux dernières colonnes de gauche, et on trouvera ce second chiffre par la méthode indiquée pour les nombres ne renfermant que deux tranches; c'est-à-dire que, dans le nombre proposé, on négligera tous les chiffres, à l'exception de ceux contenus dans les deux tranches de gauche.

Le troisième chiffre de la racine devra être tel, que le carré du nombre qu'il donne avec les deux autres soit le plus grand carré contenu dans les trois tranches du nombre proposé.

Prenons pour exemple le nombre 421201; il faudra disposer le calcul de la manière suivante :

Carré	42.12.01	649		
	36	125	124	1289
1er reste	61.2	5	4	9
	496	625	496	11601
2e reste	11601			
	11601			
3e reste	0			

Le calcul peut s'énoncer ainsi : le plus grand carré contenu dans 42 est 36, dont la racine est 6. 6 est donc le premier chiffre de gauche de la racine.

42,12 contient le carré de 64; nous avons démontré que le plus grand carré contenu dans 42,12 ne peut dépasser celui de 64. Or, le carré de 64 est égal à 36 centaines plus 4 fois 12 dizaines ou 48 dizaines plus 16 unités.

Si donc on retranche 36 centaines de 42,12, le reste 61,2 devrait renfermer 4 fois les 12 dizaines plus des unités; nous plaçons donc une virgule avant le chiffre 2 et nous divisons 61 par 12, nous trouvons 5 qui est un nombre trop fort. Car, en faisant le produit de 125 par 5, le produit 625 ne peut se re-

trancher de 612, nous essayons alors 4 qui, pouvant se retrancher, est un chiffre exact. Le produit 496 peut se retrancher de 612, le reste est 116, on abaisse les deux chiffres restants 01. Ce reste doit évidemment contenir le double produit de 64 dizaines par 9 ; on fait la division par le double de 64 ou 128, et on essaie le chiffre 9 en vérifiant si le produit 1289 par 9 peut se retrancher de 116,01, le reste zéro indique que 9 est exact.

Quand la racine carrée d'un nombre entier tombe entre deux nombres entiers consécutifs, cette racine, quoiqu'elle existe, ne saurait être exprimée exactement par aucun nombre. En effet, si un nombre pouvait exprimer cette racine, ce nombre serait décimal ou fractionnaire, et en le convertissant en fraction irréductible, le carré de cette fraction irréductible devrait être un nombre entier, ce qui n'est pas possible.

On appelle incommensurables les quantités qui n'ont pas de commune mesure avec l'unité.

Pour extraire la racine carrée d'un nombre entier quelconque, on opère comme si ce nombre était un carré. Quand le dernier reste, qui correspond au chiffre des unités de la racine, n'est pas zéro, la racine cherchée est incommensurable et le nombre obtenu à la racine carrée exprime la racine du plus grand carré contenu dans le nombre proposé.

Si l'on conçoit qu'un nombre soit décomposé en deux parties quelconques, et si l'on multiplie la somme de ces parties par elle-même, on verra que le carré d'une somme formée de deux parties est composée du carré de la première partie, du double de la première partie multipliée par la deuxième, et du carré de la deuxième partie.

Quand le reste qui correspond à la racine obtenue n'est pas moindre que le double de cette racine, augmentée de 1, la racine obtenue est trop petite au moins d'une unité ; et quand le reste est moindre que le double de la racine obtenue augmentée de un, cette racine ne peut être augmentée de un.

Le carré d'une fraction est le produit d'une fraction par elle-même et par conséquent égale au carré du numérateur divisé par celui du dénominateur.

Donc pour extraire la racine carrée d'une fraction, il suffit d'extraire séparément la racine carrée du numérateur et celle du dénominateur.

On peut ramener le calcul à extraire la racine carrée d'un

seul nombre, en multipliant d'abord les deux termes de la fraction par son dénominateur.

Pour trouver la racine carrée d'un nombre quelconque à moins d'une unité décimale d'un ordre déterminé, on prépare ce nombre de manière qu'il contienne le double du nombre des décimales demandées; on fait abstraction de la virgule, on calcule la plus petite valeur entière approchée de la racine de ce dernier nombre, et l'on sépare à la droite de cette racine le nombre de décimales nécessaire à l'approximation demandée.

§ II. DES CUBES ET DE LA RACINE CUBIQUE DES NOMBRES ENTIERS.

Le produit de trois facteurs égaux à un nombre donné, est ce qu'on nomme le cube de ce nombre; et le nombre qui, pris trois fois comme facteur, détermine un nombre donné, est la racine cubique du nombre donné.

Pour indiquer le cube d'un nombre, on place le chiffre 3 à sa droite et un peu au-dessus. On désigne la racine cubique d'un nombre en mettant ce nombre sous le signe $\sqrt[3]{}$

Les cubes des nombres 1, 10, 100, etc., étant 1, 1000, 10000, etc., les nombres compris entre 1 et 1000, entre 1000 et 1000000, etc., ont leurs racines cubiques comprises entre 1 et 10, entre 10 et 100, etc. Par conséquent,

Quand le cube d'un nombre entier n'a pas plus de 3 chiffres, la racine cubique de ce cube n'a qu'un seul chiffre; quand le cube renferme 4, 5 ou 6 chiffres, la racine cubique en a deux et ainsi de suite.

Les cubes des nombres d'un seul chiffre étant moindres que 10^3 ou que 1000, on revient de ces cubes à leurs racines cubiques en faisant usage de la table suivante :

Racine cubique 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.

Cubes 1, 8, 27, 64, 125, 216, 343, 512, 729.

Pour extraire la racine cubique d'un nombre entier plus grand que 1000, on remarque que le cube d'un nombre composé de dizaines et d'unités contient 4 parties, savoir : le cube des dizaines, le produit de trois fois le carré des dizaines par les unités, trois fois le carré des unités par les dizaines et le cube des unités. Ces 4 parties expriment respectivement des mille, des centaines, des dizaines et des unités.

Ainsi le cube de 64 est composé du cube 216 mille des 6

dizaines de 64, de trois fois le carré 36 centaines des 6 dizaines multiplié par les 4 unités ou de 432 centaines, de 3 fois les 6 dizaines multipliées par le carré des 4 unités ou de 288 dizaines, et enfin du cube 64 des 4 unités; la somme 262144 de ces 4 parties exprime le cube de 64. Pour obtenir le cube de 649, on peut décomposer ce nombre en 64 dizaines plus 9 unités, et le cube demandé est formé du cube 262144 mille des 64 dizaines de 649, de 3 fois le carré 4096 centaines des 64 dizaines multipliées par les 9 unités ou de 110592 centaines, de 3 fois les 64 dizaines multipliées par le carré 81 des 9 unités ou de 15552 dizaines et du cube 729 des 9 unités; la somme 273359449 de ces 4 parties est le cube de 649.

Nous allons faire voir comment on peut revenir du cube d'un nombre entier quelconque, à la racine cubique de ce cube.

Première exemple : extraire la racine cubique de 262144. On dispose le calcul de la manière suivante :

Cube	262.144	64	racine cubique.
	216	43200	
1er reste	46144	2880	
	46144	64	
2e reste	0	46144	

Et l'on dit : le cube des dizaines de la racine étant au moins égal à mille, ne peut se trouver que dans les 262 mille de 262.144 (on sépare par un point les trois premiers chiffres à droite de 262144), le nombre 262 tombant entre 6^3 et 7^3, je dis que 6 est le chiffre des dizaines de la racine; en effet, 262 étant plus grand que 6^3, les 262 mille de 262144 expriment un nombre plus grand que 6^3 mille, donc si l'on ajoute 144 unités à 262 mille, la somme 262144 sera nécessairement plus grande que 6^3 mille. D'ailleurs 262 est moindre que 7^3 et l'excès de 7^3 sur 262 ne saurait être moindre qu'une unité. Par conséquent l'excès de 7^3 mille sur 262 mille, ne saurait être moindre qu'un mille; ajoutant donc à 262 mille le nombre 144 qui est moindre qu'un mille, la somme 262144 sera nécessairement moindre que 7^3 mille. Le nombre proposé 262144 est donc compris entre 6^3 mille et 7^3, c'est-à-dire entre les cubes de 6 dizaines et de 7 dizaines; la racine cubique de 262144 est donc comprise entre 6 et 7 dizaines, elle est

donc composée de 6 dizaines et d'un certain nombre d'unités moindre que 10. Pour obtenir ces unités, on retranche de 262144 le cube 216 mille des 6 dizaines de la racine; le reste 46144 ne renferme plus que trois fois le carré des 6 dizaines de la racine, multipliées par les unités, 3 fois les 6 dizaines multipliées par le carré des unités et le cube des unités; le produit de trois fois le carré des 6 dizaines par les unités étant des centaines, ne peut se trouver que dans les 461 centaines du reste 461.44. (On sépare par un point les deux premiers chiffres à droite de ce reste.) Ces centaines renferment en outre les centaines contenues dans les deux dernières parties du cube. Or, le triple carré des 6 dizaines est 108 centaines; divisant donc 461 centaines par 108 centaines ou 461 par 108, les 4 unités du quotient expriment le chiffre des unités de la racine ou un chiffre trop fort. Pour essayer le chiffre 4 on ôte 64^3 de 262144; le reste zéro fait voir que 64 est la racine cubique exacte de 262144.

On parvient au même résultat en retranchant du reste 46144 la somme des trois dernières parties 432 centaines, 288 dizaines, 64 unités, du cube de 64.

Le raisonnement qui a servi à déterminer les dizaines de la racine cubique cherchée étant applicable à un nombre quelconque, on en conclut que la racine du plus grand cube contenu dans les mille d'un nombre quelconque, détermine toujours les dizaines de la racine cubique de ce nombre.

Extraire la racine cubique de 273359449.

On dispose le calcul de la manière suivante :

Cube	273359.449	649 racine cubique.		
	216	$6^2 \times 3 = 108$	64^2 3 = 12288	
1er reste	57359	54000	43200	11059200
	46144	4500	2880	155520
		125	64	729
2e reste	11215449	58625	46144	11215449
	11215449			
3e reste	0			

et l'on dit : le nombre proposé ayant plus de trois chiffres, la racine cubique renferme des dizaines, dont le cube ne peut se trouver que dans les 273359 mille de 273359449. (On sépare par un point les trois premiers chiffres à droite de 273359.449.)

La racine cubique du plus grand cube contenu dans 273359 exprimant le nombre des dizaines de la racine cherchée, la

question est réduite à déterminer la racine cubique d'un nombre 273359 qui contient trois chiffres de moins que le nombre proposé; à cet effet, on sépare par un point les trois premiers chiffres à droite de 273.359; la racine cubique 6 du plus grand cube contenu dans 273, est le premier chiffre à gauche de la racine demandée, qui est par conséquent composée de trois chiffres.

On est donc conduit à diviser le nombre donné en tranches de trois chiffres à partir de la droite, et quand le nombre donné est un cube exact, le nombre de tranches indique le nombre des chiffres de la racine cubique.

En opérant comme dans l'exemple précédent, on trouve que la racine cubique du plus grand cube contenu dans 273359, est 64; et que l'excès de 273359 sur 64^3 est 11215; la racine cubique de 273359449 est donc composée de 64 dizaines, et d'un certain nombre d'unités exprimé par un seul chiffre.

Cela est d'ailleurs évident; car 273359 tombant entre les cubes 262144, 274625, de 64 et de 65, le nombre 273359449 est compris entre les cubes 262144000, 274625000, de 64 dizaines et de 65 dizaines.

Pour trouver le chiffre des unités de la racine demandée, on retranche de 273359449 le cube 262144 mille des 64 dizaines de la racine; le reste 11215449 contient trois fois le carré des 64 dizaines multipliées par les unités de la racine, trois fois les 64 dizaines multipliées par le carré des unités, et le cube des unités.

On pourrait parvenir au même reste en observant que l'excès de 273359 sur 64^3 étant 11515, l'excès de 273359449 sur 640^3 peut s'obtenir en abaissant la tranche 449 à la droite de 11215.

Cela posé, le triple carré des 64 dizaines, qui est 12288 centaines multipliées par le chiffre des unités de la racine, donnant des centaines, ne peut se trouver que dans les 112154 centaines du reste 112154.49. (On sépare par un point les deux premiers chiffres à droite de 112154.49.) Ces centaines renferment en outre les centaines contenues dans les deux dernières parties du cube; divisant donc 112154 par 12288, les 9 unités du quotient expriment le chiffre des unités de la racine ou un chiffre plus grand.

Pour essayer le chiffre 9, on ôte 649^3 de 273359449; le reste zéro fait voir que 649 est la racine cubique de 273359449.

On parvient au même résultat en retranchant du reste 1121 5449 la somme des trois dernières parties 110592 centaines, 15552 dizaines, 726 unités, du cube de $640 + 9$; le reste est égal à $273359449 - 649^3$; ce reste étant nul, la racine obtenue est exacte.

Dans tout le cours des opérations relatives à l'extraction de la racine cubique, chaque reste est égal au nombre dont on cherche la racine cubique diminué du cube de la partie de la racine déjà obtenue.

§ III. — FORMATION DU CUBE, ET EXTRACTION DE LA RACINE CUBIQUE DES FRACTIONS ET DES NOMBRES DÉCIMAUX.

Le cube d'une fraction s'obtient en élevant le numérateur et le dénominateur au cube.

Donc pour en trouver la racine cubique, il suffit d'extraire séparément la racine cubique du numérateur et celle du dénominateur.

Le cube d'un nombre décimal s'obtient en formant le cube, abstraction faite de la virgule, et en séparant ensuite à la droite de ce dernier cube trois fois autant de décimales qu'il y en a dans le nombre décimal proposé.

Des puissances et des racines.

Quand une quantité est multipliée par elle-même, le produit est une puissance de cette quantité, et cette quantité est la racine de la puissance.

Le carré d'un nombre est la deuxième puissance de ce nombre. Le cube est la troisième puissance.

Pour indiquer un nombre élevé à une puissance quelconque, la septième par exemple, on écrit un 7 au-dessus du nombre comme l'on fait avec le chiffre 2 dans le carré.

Pour indiquer une racine septième à chercher, on place sur le nombre le signe $\sqrt[7]{}$.

CHAPITRE VI.

RAPPORTS. PROPORTIONS. PROGRESSIONS.

§ I. — DES RAPPORTS ET DES PROPORTIONS ARITHMÉTIQUES ET GÉOMÉTRIQUES.

La différence entre deux quantités est leur rapport arithmétique ou par différence; le quotient de deux quantités est leur rapport géométrique ou par quotient.

Ainsi le rapport arithmétique de 18 à 6 est 18 — 6 ou 12, et le rapport géométrique de 18 à 6 est $\frac{18}{6}$ ou 3, 18 et 6 sont les deux termes de chacun de ces rapports. Le premier terme 18 en est l'antécédent, et le deuxième terme 6 en est le conséquent.

Un rapport arithmétique ne change pas quand on augmente ou quand on diminue les deux termes d'un même nombre; car quand deux nombres augmentent ou diminuent d'une même quantité, leur différence ne change pas.

Par exemple, le rapport arithmétique de 7 à 5 est égal à celui de 7 + 4 à 5 + 4 ou de 11 à 9; car 7 — 5 est égal à 11 — 9.

Un rapport géométrique ne change pas quand on multiplie ou quand on divise ses deux termes par un même nombre; car ce rapport est équivalent à une fraction dont le numérateur et le dénominateur sont l'antécédent et le conséquent du rapport, et l'on sait qu'une fraction ne change pas de valeur quand on multiplie ou qu'on divise ses deux termes par un même nombre.

Par exemple, le rapport géométrique de 7 à 3 est le même que celui de 7 × 4 à 3 × 4 ou de 28 à 12; car ces rapports sont respectivement égaux aux fractions $\frac{7}{3}$, $\frac{28}{12}$, qui sont égales.

L'assemblage des deux rapports égaux forme ce qu'on nomme une proportion. Par exemple, le rapport arithmétique de 7 à 5 étant égal à celui de 11 à 9, les nombres 7, 5, 11, 9, for-

ment une proportion arithmétique que l'on écrit de cette manière :

7 . 5 : 11 . 9

et que l'on énonce : 7 est à 5 comme 11 est à 9.

Le rapport géométrique de 7 à 3 étant égal à celui de 28 à 12, les nombres 7, 3, 28, 12, forment une proportion géométrique que l'on écrit :

7 : 3 :: 28 : 12, et que l'on énonce :

7 est à 3 comme 28 est à 12.

Pour distinguer les deux antécédents et les deux conséquents d'une proportion, on appelle premier antécédent et premier conséquent les deux termes du premier rapport, et deuxième antécédent et deuxième conséquent ceux du deuxième rapport. Le premier terme et le quatrième sont les extrêmes; le deuxième terme et le troisième sont les moyens.

Dans une proportion arithmétique, la différence des deux premiers termes est la raison du premier rapport; la différence des deux autres est la raison du deuxième rapport. Dans une proportion géométrique, le quotient du premier terme par le deuxième est la raison du premier rapport, et le quotient du troisième terme par le quatrième est la raison du deuxième rapport.

Il résulte des définitions précédentes que, dans toute porportion arithmétique ou géométrique, la raison du premier rapport est égale à la raison du deuxième rapport.

Le quatrième terme d'une proportion est ce qu'on nomme une quatrième proportionnelle aux trois autres termes. Quand les moyens sont égaux, la proportion est dite continue.

Dans la proportion continue 5 . 7 : 7 . 9, le terme moyen 7 est une moyenne arithmétique entre 5 et 9; cette proportion s'écrit ordinairement de cette autre manière : 5 . 7 . 9. 9 est une troisième proportionnelle arithmétique à 5 et 7; de même 4 : 12 :: 12 : 36 est une proportion géométrique continue qu'on écrit ordinairement de cette autre manière :

:: 4 : 12 : 36.

12 est une moyenne géométrique, 36 une troisième proportionnelle géométrique.

Dans toute proportion arithmétique, la somme des extrêmes est égale à la somme des moyens. En effet, soit la proportion

arithmétique 7 . 5 : 11 . 9, elle exprime que les rapports 7 — 5, 11 — 9 sont égaux ; par conséquent, si l'on augmente les rapports de la somme 5 + 9 des conséquents, les résultats seront égaux ; or 7 — 5 + 5 + 9 se réduit à 7 + 9, et 11 — 9 + 5 + 9 se réduit à 11 + 5; la proportion 7 . 5 : 11 . 9 donne donc 7 + 9 = 11 + 5.

Quand la somme de deux nombres est égale à la somme de deux autres nombres, ces quatre nombres forment une proportion arithmétique dans laquelle les deux nombres qui composent une des sommes sont les extrêmes et les deux autres sont les moyens.

En effet, soit l'égalité 7 + 9 = 11 + 5.

Si des deux quantités 7 + 9, 11 + 5, on retranche 5 + 9, les restes seront égaux.

On a donc 7 — 5 = 11 — 9, les rapports arithmétiques 7 — 5 et 11 — 9 sont égaux.

Le quatrième terme d'une proportion arithmétique est égal à la somme des moyens diminuée du premier terme.

En effet, la proportion 7 . 5 : 11 . 9 donnant 7 + 9 = 5 + 11, on a 9 = 5 + 11 — 7.

Par conséquent quand on connaît trois termes d'une proportion arithmétique, on peut toujours en déduire le quatrième.

Dans toute proportion géométrique, le produit des extrêmes est égal au produit des moyens.

En effet, la proportion 7 : 3 :: 28 : 12 exprime que

$$\frac{7}{3} = \frac{28}{12}, \text{ et par suite que } 7 \times 12 = 28 \times 3.$$

Quand le produit de deux nombres est égal à celui de deux autres, ces 4 nombres peuvent former une proportion; en effet,

$$7 \times 12 = 28 \times 3, \text{ donc } \frac{7}{3} = \frac{28}{12}, \text{ donc } 7 : 3 :: 28 : 12$$

Le quatrième terme d'une proportion est égal au produit des moyens divisés par le premier terme; en effet,

$$12 = \frac{28 \times 3}{7}$$

Par conséquent, quand on connaît trois termes d'une proportion, on peut toujours en déduire le quatrième; si les moyens sont

égaux, chacun d'eux est égal à la racine carrée du produit des extrêmes; en effet,

$$4 : 12 :: 12 : 36, \text{ donc } 12 \times 12 = 12^2 = 4 \times 36, \text{ donc}$$
$$12 = \sqrt{4 \times 36}.$$

Enfin, il est facile de voir que, tant que le produit des moyens est égal à celui des extrêmes, la proportion a toujours lieu. On peut donc mettre les moyens à la place des extrêmes. On déduit de ce qui précède que quand deux proportions ont un rapport commun, les deux autres rapports forment une proportion, et que si deux proportions ont les mêmes antécédents ou les mêmes conséquents, les quatre autres termes forment une porportion. Enfin, l'on peut dire : dans une proportion le premier antécédent, plus ou moins un certain nombre de fois son conséquent, est à ce conséquent, comme le deuxième antécédent, plus ou moins le même nombre de fois son conséquent, est à ce conséquent.

$$\text{Soit } 20 : 2 :: 30 : 3. \text{ On pose } \frac{20}{2} = \frac{30}{3}.$$

Or, d'après le calcul des fractions, on sait que

$$\frac{20 \pm 4 \times 2}{2} = \frac{30 \pm 4 \times 3}{3},$$

ce qui démontre la propriété. Il est facile de déduire d'autres propriétés des proportions en tenant compte des différentes propriétés des fractions; ainsi on a, par exemple,

$$\frac{20}{2} = \frac{30}{3}, \text{ donc } \frac{20}{2 + 20 \times 4} = \frac{30}{3 + 20 \times 4}$$

Quand on multiplie les termes de plusieurs proportions les uns par les autres et par ordre, les quatre produits forment une nouvelle proportion. En effet, soient $3 : 6 :: 4 : 8$ et $5 : 7 :: 20 : 28$

$$\text{on a } \frac{3}{6} = \frac{4}{8} \text{ et } \frac{5}{7} = \frac{20}{28}$$
$$\text{donc } \frac{3}{6} \times \frac{5}{7} = \frac{4}{8} \times \frac{20}{28}$$

ce qui donne $3 \times 5 : 6 \times 7 :: 4 \times 20 : 8 \times 28.$

On en déduit que les puissances semblables de quatre nombres en proportion sont en proportion.

§ II. APPLICATION DES PROPORTIONS.

Règle de trois simple.

Quatre ouvriers ont fait 20 mètres d'ouvrage, combien 9 en feront-ils?

Appelons x le nombre cherché, on a évidemment la proportion

$$4 : 20 :: 9 : x \text{ donc } x = \frac{20 \times 9}{4} = 45.$$

Règle de trois composée.

Deux ouvriers travaillant 3 heures par jour, ont fait en 5 jours 90 mètres d'ouvrage, combien 3 ouvriers travaillant 7 heures par jour feront-ils de mètres du même ouvrage en 2 jours?

Il faut avoir égard successivement au nombre des ouvriers, des heures, et des jours.

Deux ouvriers travaillant 3 heures par jour pendant 5 jours, font autant d'ouvrage que 6 ouvriers travaillant une heure par jour pendant 5 jours; ou que 30 ouvriers travaillant pendant une heure et pendant un jour.

Maintenant 3 ouvriers travaillant 7 heures, font autant d'ouvrage que 21 ouvriers pendant une heure, et s'ils travaillent pendant 2 jours il faudrait 42 ouvriers travaillant pendant une heure, un seul jour, pour faire le même travail.

Donc la question est ramenée à une règle de trois simple que l'on peut poser ainsi :

30 ouvriers ont fait, dans un temps donné, 90 mètres d'ouvrage, combien 42 ouvriers en feront-ils dans le même temps? Donc

$$30 : 90 :: 42 : x = 126.$$

Règles d'intérêts.

Problème. Combien 480000 francs d'argent comptant vaudront-ils dans 3 ans? L'intérêt étant supposé de 5 francs pour

100, il en résulte que 100 francs valent 115 francs après 3 ans. Donc le problème revient à celui-ci : 100 francs rapportent 115 francs, combien 480000 francs rapporteront-ils? et le quatrième terme de la proportion indique cette valeur.

$$100 : 115 :: 480000 : x = 552000.$$

Problème. Combien 560000 francs payables dans 40 mois valent-ils en argent comptant?

Si 100 francs donnent 5 francs pour intérêt après l'année, après 4 mois ils donneront $\frac{5}{3}$ de francs; donc 100 francs valent au bout de 40 mois

$$100 + 5 + 5 + 5 + \frac{5}{3} \text{ ou } 115 + \frac{5}{3} \text{ ou } \frac{350}{3} \text{ francs.}$$

Nous avons donc la proportion :

$\frac{350}{3}$ francs la valeur de 100 au bout de 40 mois est à 100, comme 560000 est à la valeur cherchée.

$$\frac{350}{3} : 100 :: 560000 : x = 480000.$$

Problème. Combien doit-on payer d'escompte à raison de 6 pour 100, pour toucher sur-le-champ un billet de 2850 fr. 45 c. payable dans 3 ans 4 mois ou 40 mois?

L'escompte de 100 francs par an étant 6, on obtiendra l'escompte des 2850 fr. 45 c. pour un an à l'aide de la proportion

$$100 : 2850{,}45 :: 6 : x \text{ donc } x; = \frac{2850{,}45 \times 6}{100}$$

Connaissant l'escompte des 2850 fr. 45, c. pour un intervalle de 12 mois, on en déduira l'escompte de la même somme pour 40 mois, en posant la proportion

$$12 : 40 :: \frac{2850{,}45 \times 6}{100} : x; \text{ donc } x = \frac{2850.45 \times 6 \times 40}{100 \times 12}.$$

§ III. DES PROGRESSIONS ARITHMÉTIQUES.

La progression arithmétique, ou par différence, est formée d'une suite de termes croissants ou décroissants, tels que la différence entre deux termes consécutifs quelconques est constante. Cette différence est la raison de la progression.

Par exemple, les nombres 4, 7, 10, 13, 16, forment une progression arithmétique croissante dont la raison est 3 et que l'on écrit ainsi :

$$\div\ 4.\ 7.\ 10.\ 13.\ 16.$$

On l'énonce : 4 est à 7 comme 7 est à 10, etc.

D'après la définition de la progression arithmétique croissante, le deuxième terme est égal au premier, plus la raison ; le troisième est égal au deuxième, plus la raison, c'est-à-dire au premier terme augmenté de 2 fois la raison ; et en général un terme d'un rang quelconque est égal au premier terme, augmenté d'autant de fois la raison qu'il y a de termes avant lui.

Quand la progression est décroissante, un terme d'un rang quelconque s'obtient en diminuant le premier terme d'autant de fois la raison qu'il y a de termes avant lui.

Par conséquent, on peut former une progression quand on connaît le premier, le dernier terme, et le nombre total des termes ; car si 4 et 16 étant les deux termes extrêmes, l'on demande qu'il y ait trois termes, compris entre 4 et 16, 16 devra renfermer le nombre 4, plus autant de fois la raison qu'il a de termes avant lui, c'est-à-dire 4 fois la raison ; donc la raison s'obtient en ôtant 4 de 16, ce qui donne 12, qui, divisé par 4, donne 3 pour la raison ; et l'on trouve ainsi la progression :

$$4 : 7 : 10 : 13 : 16.$$

§ IV. — PROGRESSIONS GÉOMÉTRIQUES.

La progression géométrique ou par quotient est formée d'une suite de termes tels qu'en divisant chacun d'eux par celui qui le précède, le quotient reste constant ; ce quotient est la raison de la progression.

Par exemple, les nombres 1, 3, 9, 27, 81, forment une

progression géométrique, dont la raison est 3, et que l'on écrit ainsi :

$$:: 1 : 3 : 9 : 27 : 81$$

On l'énonce : 1 est à 3 comme 3 est à 9 comme 9 est à 27, etc.

D'après la définition de la progression géométrique, le deuxième terme est égal au premier multiplié par la raison ; le troisième est égal au deuxième, multiplié par la raison, ou au premier multiplié deux fois par la raison ; et en général, un terme d'un rang quelconque est égal au premier terme multiplié par la raison, prise autant de fois comme facteur qu'il y a de termes avant lui ; de sorte qu'un terme quelconque peut s'obtenir en multipliant le premier terme par la raison élevée à une puissance indiquée par le nombre des termes qui le précèdent.

D'après ce qui précède, nous pouvons insérer un certain nombre de moyens géométriques entre deux nombres donnés. Nous avons vu qu'il suffisait, pour obtenir la raison de la progression demandée, de calculer le quotient de la division du plus grand des deux nombres donnés par le plus petit, et d'extraire de ce quotient la racine du degré indiqué par le nombre de moyens géométriques augmenté de 1.

Il résulte aussi de ce que nous avons vu, qu'en insérant successivement un même nombre de moyens géométriques entre le premier terme et le deuxième terme d'une progression géométrique, entre le deuxième et le troisième, etc. L'ensemble de tous ces termes forme une nouvelle progression géométrique.

La propriété analogue a aussi évidemment lieu pour les progressions arithmétiques.

CHAPITRE VII.

THÉORIE DES LOGARITHMES.

Quand on compare deux progressions indéfinies, l'une géométrique commençant par l'unité, l'autre arithmétique commençant par zéro, chaque terme de la seconde progression est ce qu'on appelle le logarithme du terme correspondant de la

première progression; l'ensemble des termes de ces deux progressions forme un système de logarithmes.

Il suit de cette définition que le logarithme de l'unité est toujours égal à zéro.

Dans des progressions de cette espèce, chaque terme de la progression géométrique est égal à la raison, prise autant de fois comme facteur qu'il y a de termes avant lui, et chaque terme de la progression arithmétique est égal à la raison répétée autant de fois qu'il y a de termes avant lui.

Par conséquent, les termes successifs de la progression géométrique sont toutes les puissances successives de la raison de cette progression, et le rang de chaque terme est indiqué par l'exposant de la raison dans ce terme augmenté d'une unité.

Les termes successifs de la progression arithmétique sont tous les multiples successifs de la raison de cette progression, et le rang de chaque terme est indiqué par la multiplication de la raison dans ce terme augmenté d'une unité.

Quand un terme de la progression géométrique occupe le même rang qu'un terme de la progression arithmétique, ces deux termes sont tels que l'exposant de la raison dans le terme de la progression géométrique est égal au multiplicateur de la raison dans le terme correspondant de la progression arithmétique; et réciproquement toutes les fois que l'exposant de la raison dans un terme de la progression géométrique est égal au multiplicateur de la raison dans un terme de la progression arithmétique, on est certain que ces deux termes occupent le même rang dans les deux progressions.

Si l'on multiplie l'un par l'autre deux termes de la progression géométrique, et si l'on ajoute les termes correspondants de la progression arithmétique, le produit et la somme seront des termes de ces progressions, et de plus ces termes se correspondront. Cela résulte immédiatement de ce qui précède.

On voit donc que si deux progressions, l'une géométrique commençant par l'unité, l'autre arithmétique commençant par zéro, sont placées en regard :

$$\because 1 : 3 : 9 : 27 : 81 : 243 : 729 : 2187 : 6561, \text{ etc.}$$
$$\div 0 . 2 . 4 . 6 . 8 . 10 . 12 . 14 . 16. \text{ etc.}$$

Pour trouver la place occupée par le produit de plusieurs termes de la progression géométrique, il suffira d'ajouter les termes correspondants de la progression arithmétique; le terme

qui représente la somme correspondra au terme qui représente le produit. Ainsi le produit des trois termes 3, 9, 27, correspond à la somme des trois termes 2, 4, 6, dont la somme est 12; donc le produit cherché est 729.

Les termes de la progression arithmétique étant les logarithmes des termes correspondants de la progression géométrique, on voit que le logarithme du produit de plusieurs termes est égal à la somme des logarithmes.

Si entre tous les termes des deux progressions que nous avons considérées, on insère un très grand nombre de termes, nous pourrons transformer la progression géométrique en une autre qui sera telle, que la série des nombres entiers consécutifs, à partir de l'unité, s'y trouvera, sinon représentée exactement, du moins exprimée par des termes qui différeront aussi peu qu'on voudra des nombres naturels.

Nous pourrons alors établir pour les nombres plus grands que l'unité les principes suivants : le logarithme du produit de plusieurs facteurs est égal à la somme des logarithmes de ces facteurs.

Par exemple, 21 étant le produit de 3 par 7, on a :

$$\log. 21 = \log. 3 + \log. 7.$$

Le logarithme du quotient est égal au logarithme du dividende, moins le logarithme du diviseur; car le dividende étant égal au produit du diviseur par le quotient, il suit que le logarithme du dividende est égal à la somme des logarithmes du diviseur et du quotient. Ainsi :

$$\log. \left(\frac{21}{7}\right) = \log. 21 - \log. 7 = \log. 3.$$

Le logarithme d'un nombre fractionnaire est égal au logarithme du numérateur, moins le logarithme du dénominateur; car on peut considérer un nombre fractionnaire comme indiquant le quotient de la division de son numérateur par son dénominateur;

on a donc : $\log. \frac{21}{7} = \log. 21 - \log. 7.$

Le logarithme d'une puissance est égal au produit du logarithme de ce nombre par le degré de la puissance :

$$\log. 4^3 = 3 \log. 4.$$

Le logarithme d'une racine s'obtient en divisant le logarithme de ce nombre par le degré de la racine :

$$\log.\ \sqrt[3]{64} = \frac{1}{3}\log.\ 64.$$

Des logarithmes dans le système dont la base est 10.

Ce système, généralement adopté pour les calculs numériques, se déduit des progressions :

$$\because\ 1 : 10 : 100 : 1000 : 10000 : 100000 : 1000000, \text{ etc.}$$
$$\div\ 0 . 1 . 2 . 3 . 4 . 5 . 6, \text{ etc.}$$

en insérant successivement des moyens géométriques et arithmétiques entre les termes de ces progressions. La raison 10 de la progression géométrique primitive s'appelle la base du système de logarithme.

Dans ce système, les logarithmes des nombres

1, 10, 100, 1000, etc.

étant égaux à

0, 1, 2, 3, etc.,

on voit que, suivant qu'un nombre est compris entre 1 et 10, entre 10 et 100, etc., son logarithme tombe entre zéro et un, entre un et deux, etc.

Par conséquent, si l'on évalue les logarithmes en décimales, la partie entière du logarithme d'un nombre entier ou décimal, plus grand que l'unité, contiendra autant d'unités moins une qu'il y a de chiffres dans la partie entière du nombre dont on cherche le logarithme. Cette partie entière du logarithme s'appelle la caractéristique.

Quand on connaît le logarithme d'un nombre, pour en déduire le logarithme du produit ou du quotient de ce nombre, par l'unité suivie de plusieurs zéros, il suffit d'augmenter ou de diminuer le logarithme donné d'autant d'unités qu'il y a de zéros. Ainsi, on a :

$$\text{Log.}\ (47 \times 1000) = \log.\ 47 \times \log.\ 1000 = \log.\ 47 + 3.$$

$$\text{Log.}\ \left(\frac{47}{1000}\right) = \log.\ 47 - \log.\ 1000 = \log.\ 47 - 3.$$

Quand on augmente ou qu'on diminue le logarithme d'un nombre de plusieurs unités, le résultat est le logarithme du produit ou du quotient de ce nombre par une puissance de 10 égale au nombre d'unités dont a augmenté ou diminué le logarithme donné.

Par exemple, on a :

Log. $47 + 3 = \log. 47 + \log. 1000 = \log. (47 \times 1000) = \log. (47 \times 10^3)$.

Log. $2347 - 3 = \log. 2347 - \log. 1000 = \log. \left(\frac{2347}{1000}\right) = \log. \left(\frac{2347}{10^3}\right)$.

Le système de logarithmes déterminé par les progressions primitives :

$$\because 1 : 10 : 100, \text{ etc.},$$
$$\div 0 \cdot 1 \cdot 2, \text{ etc.},$$

ne peut conduire qu'aux logarithmes des nombres plus grands que l'unité. Pour obtenir les logarithmes des nombres moindres que l'unité, il faudrait que ces nombres fissent partie de la progression géométrique; or, dans cette progression, chaque terme, divisé par la raison 10, donnant le terme précédent, on peut faire précéder le terme 1 des termes $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{100}$, etc., de sorte que la progression géométrique indéfiniment prolongée de part et d'autre du terme 1 devient :

$$\ldots : \frac{1}{100} : \frac{1}{10} : 1 : 10 : 100 : \ldots$$

Pour trouver les logarithmes des nombres $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{100}$, il faut établir des conventions à l'aide desquelles on puisse former les termes qui précèdent zéro dans la nouvelle progression arithmétique. Or, chaque terme de la progression arithmétique, diminué de la raison 1, donne le terme précédent. Le terme qui précède zéro s'obtiendra donc en retranchant une unité à zéro; ce qui fait $0-1$, ou simplement -1, et ainsi de suite on aura -2, -3, etc.

Les progressions s'écriront alors :

$$: \frac{1}{1000} : \frac{1}{100} : \frac{1}{10} : 1 : 10 : 100.$$
$$-3 \;.\; -2 \;.\; -1 \;.\; 0 \;.\; 1 \;.\; 2.$$

suivant qu'un nombre est précédé du signe + ou du signe —, on dit que ce nombre est positif ou négatif. Les nombres qui ne sont précédés d'aucun signe sont censés affectés du signe + et sont par conséquent positifs.

Pour calculer les logarithmes des nombres moindres que l'unité, il faut insérer des moyens géométriques entre les termes 1, $\frac{1}{10}$. $\frac{1}{100}$, etc., de la progression géométrique, et des moyens arithmétiques entre les termes correspondants 0-1, etc., de la progression arithmétique. La recherche des moyens géométriques n'offre aucune difficulté ; mais la détermination des moyens arithmétiques exige qu'on sache opérer sur les nombres négatifs.

Des quatre opérations fondamentales de l'arithmétique sur les nombres positifs et négatifs.

Quand on veut additionner des nombres positifs et négatifs, il faut généraliser le sens qui avait été attaché jusqu'ici à la définition de l'addition ; car les signes + et —, placés devant les nombres, indiquent réellement des additions et des soustractions partielles. Nous considérerons donc l'addition de plusieurs nombres positifs et négatifs comme ayant pour but de trouver un seul nombre positif ou négatif qui exprime le résultat des additions et des soustractions partielles indiquées par les signes + et —, qui affectent les nombres sur lesquels on opère. Ce résultat est ce qu'on appelle la somme des nombres proposés.

D'après cette nouvelle définition de l'addition, pour obtenir la somme de plusieurs nombres positifs ou négatifs, on met ces nombres à la suite chacun des autres avec leurs signes; ainsi, pour ajouter + 2 à moins 3, on écrit $+2-3=1$.

La soustraction doit être considérée comme une opération dont le but est, connaissant la somme de deux nombres et l'un de ces nombres, de déterminer l'autre nombre qui est le reste.

On déduit de cette définition que, pour obtenir le reste d'une soustraction, il suffit d'écrire à la suite du nombre dont on soustrait le nombre à soustraire, pris avec un signe contraire à celui dont il est affecté; le résultat, réduit à sa plus simple expression, est le reste demandé.

La multiplication a pour but de calculer un nombre nommé produit, qui soit composé avec un nombre connu nommé multiplicande; de la même manière qu'un nombre donné, nommé multiplicateur, est composé avec l'unité.

Le signe du produit ne pouvant dépendre que des signes des facteurs et nullement de leurs valeurs numériques, il suffit de déterminer le signe du produit dans le cas où le multiplicateur est un nombre entier. Cela posé,

Quand le multiplicateur a le signe +, le produit a le signe du multiplicande; car le multiplicateur étant composé de l'addition de plusieurs unités, le produit doit être composé de l'addition de plusieurs nombres égaux au multiplicande, et l'on a vu que la somme de plusieurs nombres de même signe est affectée du signe de ces nombres.

Ainsi $(+2) \times (+3) = +6$. $(+2) \times (-3) = -6$.

Quand le multiplicateur a le signe —, le produit a un signe contraire à celui du multiplicande; car le multiplicateur entier négatif étant composé de la soustraction de plusieurs unités, on formera le produit en retranchant plusieurs fois le multiplicande; ce qui revient, comme on l'a vu, à faire la somme de plusieurs nombres égaux au multiplicande, et affectés d'un signe contraire à celui du multiplicande. Cette somme, qui exprime le produit demandé, sera donc affectée d'un signe contraire à celui du multiplicande.

Par exemple, le produit de $(-3)\ (-2) = +6$.

La division a pour but, connaissant le produit de deux nombres nommé dividende, et l'un de ces nombres nommé diviseur, de trouver l'autre nommé quotient. Il résulte de la définition de la règle des signes dans la multiplication, que le quotient de deux nombres de même signe a le signe +, et que le quotient de deux nombres de signes différents a le signe —. Par exemple :

$$\frac{+6}{+2} = +3,\quad \frac{-6}{-2} = +3,\quad \frac{+6}{-2} = -3,\quad \frac{-6}{+2} = -3.$$

Des logarithmes négatifs.

Il est facile maintenant de faire voir que les deux progressions étendues en-deçà de zéro et de un jouissent des mêmes propriétés qu'elles jouissent au-delà, c'est-à-dire que le produit ou le quotient de deux termes de la progression géométrique est toujours un des termes de cette progression; car, en mettant la progression sous la forme

$$\frac{1}{10^4} : \frac{1}{10^3} : \frac{1}{10^2} : \frac{1}{10} : 1 : 10 : 10^2 : 10^3 : 10^4 : —$$

on trouve que, par exemple, $\frac{1}{10^3} \times 10^4 = 10$ qui est un des termes, ainsi que 10^3 divisé par $\frac{1}{10}$, puisque le quotient égale 10^4. On voit de même, dans la progression arithmétique, que la somme ou la différence de deux termes quelconques est toujours un terme de la progression; car dans la progression
$\cdot - 5 \cdot - 4 \cdot - 3 \cdot - 2 \cdot - 1 \cdot 0 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4.$
la somme $- 3 + 2 = - 1$,
la différence $(- 3) - (+ 2) = - 5$, qui est aussi un terme.

Il est facile de voir à la seule inspection que, dans le système de logarithmes déterminé par ces deux progressions, les nombres plus grands que l'unité ont des logarithmes positifs qui sont d'autant plus grands que ces nombres sont plus grands; tandis que les nombres positifs moindres que l'unité ont des logarithmes négatifs qui sont d'autant plus grands que ces nombres sont plus petits.

Il est visible aussi que les nombres négatifs ne peuvent avoir de logarithmes.

DEUXIÈME PARTIE

GÉOMÉTRIE.

NOTIONS PRÉLIMINAIRES.

DÉFINITIONS.

La géométrie est une science qui a pour objet la mesure de l'étendue.

L'étendue a trois dimensions : longueur, largeur et hauteur ou épaisseur.

La ligne est une longueur sans largeur. Il y a deux espèces de lignes : les lignes droites et les lignes courbes.

Une surface est ce qui a longueur et largeur, sans hauteur. Il faut distinguer les surfaces planes et les surfaces courbes. La surface plane ou le plan est une surface dans laquelle, prenant deux points à volonté et joignant ces deux points par une ligne droite, cette ligne est tout entière dans la surface. Telle est une table bien dressée, etc., etc.

La surface courbe, au contraire, est telle que, si on y choisit deux points quelconques, et qu'on joigne ces deux points par une ligne droite, cette ligne ne se trouve pas tout entière dans la surface.

Un solide ou corps est ce qui réunit les trois dimensions de l'étendue. On connaît des solides terminés par des surfaces planes, et d'autres par des surfaces courbes.

Lorsque deux lignes droites (fig. 1) A B, A C, se rencontrent, la quantité plus ou moins grande dont elles sont écartées l'une de l'autre s'appelle angle; le point A où elles se rencontrent est le sommet de l'angle.

Les angles peuvent être plus ou moins grands; si une ligne A B (fig. 2) en rencontre une autre C D, de telle sorte que les quatre angles adjacents A C D, B C D, soient égaux entre eux, chacun de ces angles s'appelle un angle droit, et les deux lignes sont alors appelées perpendiculaires entre elles.

Tout angle plus petit qu'un angle droit est dit aigu; tout angle plus grand est appelé obtus.

On dit qu'une ligne est oblique par rapport à une autre, chaque fois que ces deux lignes ne font pas entre elles un angle droit.

Une figure plane est un plan terminé de toutes parts par des lignes; si les lignes sont droites, l'espace qu'elles renferment s'appelle polygone, et l'ensemble des lignes forme le périmètre du polygone.

Le triangle est un polygone de trois côtés. Il est appelé équilatéral, isocèle ou scalène, quand il a trois côtés égaux, ou deux seulement, ou trois inégaux.

Un triangle rectangle est celui qui a un angle droit, et le côté opposé à cet angle s'appelle hypothénuse.

La circonférence du cercle est une ligne courbe dont tous les points sont également distants d'un point intérieur qu'on appelle centre. Le cercle est la surface terminée par cette ligne courbe. Le rayon est une ligne droite qui va du centre à la circonférence, et le diamètre est une droite quelconque qui passe par le centre, et qui se termine à la circonférence; d'après cela, il est aisé de voir que le diamètre vaut deux fois le rayon, et que tous les rayons sont égaux, ainsi que les diamètres, pourvu qu'ils appartiennent à un même cercle. L'arc est une portion de la circonférence; la corde est la ligne droite qui joint les deux extrémités de l'arc. Le segment est la portion du cercle comprise entre l'arc et la corde.

Le secteur est la partie du cercle comprise entre un arc (fig. 3) D E, et les deux rayons C D et C E, menés aux extrémités de cet arc. L'angle D C E est dit un angle au centre. L'angle dont le sommet repose sur la circonférence est appelé angle inscrit, tel est l'angle (fig. 4) A B C. Si on joint A C, on obtient un triangle inscrit. Il y a des figures inscrites d'un nombre quelconque de côtés.

La tangente est une ligne qui n'a qu'un point de commun avec la circonférence; telle est M N, qui est tangente en A (fig. 5).

On dit que deux figures sont équivalentes lorsque leurs surfaces sont égales; ainsi un carré peut être équivalent à un triangle ou à un polygone de quatre, cinq, etc., côtés. On dit que deux figures sont égales lorsqu'étant placées l'une sur l'autre, elles coïncident dans toute leur étendue. Tels sont deux cercles de rayons égaux.

Deux polygones sont semblables, lorsqu'ils ont les angles égaux chacun à chacun, et les côtés homologues proportionnels; par côtés homologues, on entend ceux qui ont la même position dans les deux figures, ou qui sont adjacents à des angles égaux. Deux figures égales sont toujours semblables, mais deux figures semblables peuvent être fort inégales.

Dans deux cercles différents, on appelle arcs semblables, secteurs, segments semblables, ceux qui répondent à des angles au centre égaux (fig. 6).

Ainsi l'angle A étant égal à l'angle O, l'arc B C est semblable à l'arc D E, le secteur B A C au secteur D O E.

Deux lignes sont parallèles lorsqu'étant situées dans le même plan, elles ne peuvent se rencontrer à quelque distance qu'on les prolonge.

On donne aux polygones différents noms suivant leur forme : ainsi on appelle trapèze un quadrilatère dans lequel deux côtés sont parallèles : tel est A B C D (fig. 7).

Le carré est un polygone qui a ses côtés égaux et ses angles droits : telle est la figure A B C D (fig. 8).

Le rectangle celui qui a les angles droits sans avoir tous ses côtés égaux, comme D E F K (fig. 9).

Le parallélogramme ou rhombe celui qui a les côtés opposés parallèles, comme G H I L (fig. 10).

Le losange celui qui a ses côtés égaux sans avoir ses angles droits, comme D E F S (fig. 11).

La diagonale est la ligne qui joint les sommets de deux angles non adjacents dans un polygone quelconque.

On dit qu'un polygone est régulier lorsqu'il a, à la fois, les côtés égaux et les angles égaux : tel est l'hexagone A B C D E F (fig. 12).

On appelle axiome une proposition évidente par elle-même. Telles sont les suivantes : deux quantités égales à une troisième sont égales entre elles. Le tout est plus grand que sa partie.

D'un point à un autre, on ne peut mener qu'une seule ligne droite.

LIVRE PREMIER.

De la ligne droite et du cercle.

Proposition I. — Tous les angles droits sont égaux entre eux.

Soit la ligne C D (fig. 13) perpendiculaire à A B, et G H à E F; je dis que les angles A C D, E G H, seront égaux entre eux.

En effet, si on prend les quatre distances A C, C B, E G, G F, égales, on pourra placer E F sur A B de manière que le point E tombe en A, et le point F en B; ces deux lignes coïncideront; donc le point G, milieu de E F, tombera sur le point C, milieu de A B. Le côté G E étant ainsi appliqué sur C A, le côté G H tombera sur C D; car supposons qu'il tombe sur une ligne C O différente de C D; puisque, par hypothèse, l'angle E G H = H G F, il faudrait que l'on eût A C O = O C B; mais l'angle A C O est plus grand que A C D; l'angle O C B est plus petit que D C B; d'ailleurs, par hypothèse, A C D = B C D; donc A C O est plus grand que O C B; donc la ligne G H ne peut tomber sur une ligne C O différente de C D; donc elle tombe sur C D; donc tous les angles droits sont égaux entre eux.

Proposition II. — Toute ligne droite C D (fig. 14) qui en rencontre une autre A B sous un angle quelconque, fait avec celle-ci deux angles adjacents A C D, D C B, dont la somme vaut deux angles droits.

En effet, si au point C on élève sur A B la perpendiculaire C E, cette ligne fera avec A B deux angles, A C E, B C E, qui seront droits, et la somme de ces deux angles équivaudra à la somme des deux angles A C D, D C B.

Il résulte de là que si un nombre quelconque de lignes droites concourent d'un même côté en un point O d'une droite A B

(fig. 15), la somme de tous les angles que forment ces lignes sera égale à deux droits.

Proposition III. — Toutes les fois que deux droites A B, C D, se coupent, les angles opposés au sommet sont égaux (fig. 16).

En effet, puisque D C est une ligne droite, la somme des angles A O C, A O D, vaut deux droits; et puisque A B est droite, la somme des deux angles A O D, D O B, vaut aussi deux droits; donc $AOC + AOD = AOD + DOB$, ou $AOC = BOD$. On ferait voir de même que $AOD = COB$.

La somme des quatre angles qui sont formés autour du point O valent donc ensemble quatre angles droits.

Proposition IV. — Deux triangles, A B C, D E F (fig. 17), sont égaux :

1° Lorsqu'ils ont un angle égal compris entre les côtés égaux ;

2° Lorsqu'ils ont un côté égal adjacent à deux angles égaux chacun à chacun ;

3° Lorsqu'ils ont les trois côtés égaux chacun à chacun.

Dans les deux premiers cas, l'égalité est manifeste; car les triangles peuvent se placer l'un sur l'autre de manière à coïncider dans toutes leurs parties.

Pour concevoir l'égalité dans le troisième cas, il faut faire voir que si le côté $BC = EF$, il s'ensuit que l'angle $ABC = EDF$; car alors les deux triangles retomberont dans le premier cas, et pourront être superposés.

Considérons à cet effet deux triangles, A B C, D E F, dans lesquels on a $AB = DE$, $AC = DF$; mais l'angle $BAC > EDF$ (fig. 18).

Portons l'angle E D F dans l'angle B A C de manière à faire tomber D F sur A C; D E viendra se placer suivant A O, et si on prend $AO = DE$ et qu'on joigne O C, les deux triangles A O C, D E F, seront égaux d'après le premier cas. Mais on a $OC < OI + IC$; on a aussi $AB < AI + IB$; donc $OC + AB < OI$

$+ AI + IB + IC$, ou $OC + AB < AO + BC$, et en remarquant que $AO = AB$, il vient $OC < BC$; or $OC = EF$: donc $EF < BC$. Si le point O tombait sur B C, on aurait évidemment $OC < BC$. Enfin, si le point O tombait au-dedans du triangle A B C (fig. 19), on aurait encore O C ou son égal $EF < BC$; car on a : $AO + OC < AB + BC$; d'où $OC < BC$ en retranchant d'une part A O, et de l'autre son égal A B.

Ce que nous venons de dire prouve que l'angle B A C doit égaler l'angle E D F dans les triangles dont nous supposons les côtés égaux; car s'il était plus grand ou plus petit, le côté B C serait aussi plus grand ou plus petit que le côté E F; les deux triangles sont donc égaux.

Corollaire. Dans un triangle isocèle, les angles opposés aux côtés égaux sont égaux (fig. 20). Soit $AB = AC$, et D le milieu de B C; joignons A D, les deux triangles A D B, A D C, seront égaux comme ayant les trois côtés égaux, donc l'angle $ABD = ACD$; de plus l'angle $BDA = CDA$: donc la ligne A D est perpendiculaire sur le milieu de B C; il est enfin facile de faire voir que si l'angle $ABD = ACD$, le côté $AB = AC$.

Si ces côtés ne sont pas égaux, soit A B (fig. 21) le plus grand des deux; prenez $BD = AC$ et joignez D C. L'angle D B C est, par hypothèse, égal à A C B; les deux côtés D B et B C sont égaux aux deux côtés A C et C B; donc le triangle D B C serait égal au triangle A B C; mais la partie ne peut être égale au tout, donc il n'y a point d'inégalité entre les côtés A B et A C, donc le triangle A B C est isocèle.

Il résulte de ce qui vient d'être dit que dans un triangle quelconque, le côté opposé au plus grand angle est le plus grand; en effet, soit $CAB > ACB$ (fig. 22). Si on fait l'angle $CAD = ACB$, dans le triangle C A D on aura $AD = DC$; mais $AB < BD + AD$ ou $AB < BC$.

Proposition V. — **D'un point A (fig. 23) pris hors d'une droite C D, on peut toujours mener une infinité de lignes droites sur C D; mais on ne peut mener qu'une perpendiculaire à C D.**

En effet, supposons qu'il s'en trouve deux qui lui soient perpendiculaires, telles que A B, A O. Prolongeons l'une d'elles A B d'une quantité $BK = AB$, et joignons O K, les deux trian-

gles A O B, O B K sont égaux ; il s'en suit que l'angle B O K = B O A. L'angle B O A est droit par hypothèse . donc l'angle B O K l'est aussi ; mais si les deux angles adjacents B O A, B O K, valent ensemble deux angles droits , il faut que la ligne A O K soit droite ; d'où il résulte qu'entre les deux mêmes points , A et K, on peut mener deux lignes droites, ce qui est impossible.

On peut mener à droite de A B une ligne A I = A O, il suffit pour cela de prendre B I = B O; les lignes A O, A I sont des obliques égales, on ne peut en mener plus de deux par un même point.

Les obliques sont d'autant plus grandes qu'elles sont plus éloignées du pied de la perpendiculaire. Ainsi A C > A D (fig. 24). En effet, si on prolonge A B d'une quantité B F = A B et qu'on joigne C F et F D, les deux triangles A D B, F D B, seront égaux ; donc D F = D A, pareillement C F = A C; mais A D + D F < A C + C F, d'où 2 A D < 2 A C, et enfin A D < A C.

Ainsi plus elles s'éloignent de la perpendiculaire, plus les obliques deviennent longues; cela fait voir que pour avoir la plus courte distance d'un point à une droite, il faut mener de ce point une perpendiculaire sur la droite.

Ce qui précède montre aussi que si on élève une perpendiculaire C D (fig. 25) sur le milieu d'une droite A B, tout point O de la ligne C D sera également distant des extrémités A et B; car les obliques qui s'écartent également du pied de la perpendiculaire sont égales ; mais si on prend un point I situé hors de C D, on aura évidemment I A > I B, puisque l'on a I B < I O + O B, qui revient à I B < I A, à cause de O B = O A.

En parlant de l'égalité des triangles, nous avons omis un cas qui peut se démontrer maintenant; c'est celui où deux triangles rectangles ont l'hypothénuse égale et un côté égal. Ainsi soit (fig. 26) B C = D F et A C = D E. Pour constater l'égalité, il suffit de faire voir que A B = E F; or supposons A B > E F, prenons A O = E F, et joignons C O; le triangle C A O est égal à D E F, on a donc D F = C O, et C O = C B, ce qui est impossible, puisque C B s'écarte plus de la perpendiculaire que C O; donc il est faux de supposer A B > E F, il n'est pas plus petit non plus, il lui est donc égal, donc les deux triangles sont égaux.

Proposition VII. — Lorsque deux droites A B, C D (fig. 27), en rencontrent une troisième M N de manière que l'une, C D, soit perpendiculaire

à M N, et que l'autre, A B, ne le soit pas; les deux lignes A B, C D, suffisamment prolongées, se rencontrent. (On peut regarder cette proposition comme évidente.)

En effet, si, à partir du point C, nous portons des distances C H, H O, etc., etc., égales entre elles et à A C, et si aux points H,O, etc., etc., nous élevons des perpendiculaires à M N ainsi qu'au point A, nous formerons une suite de bandes verticales égales entre elles. Mais l'espace L A N est infini, et pour le remplir avec des bandes telles que L A C D, il en faudrait une infinité, ou autrement dit, on ne peut pas avec ces bandes remplir l'espace L A N, quel qu'en soit le nombre.

Si, au contraire, on place l'angle L A B un certain nombre de fois à côté de lui-même, on finit non seulement par remplir l'espace L A N, mais même par le dépasser.

Supposons qu'en plaçant l'angle L A B trois fois, par exemple, à côté de lui même, on remplisse l'espace L A X exactement; on en conclura que trois fois l'espace L A B vaut plus que trois fois la bande L A C D; et, par conséquent, une fois l'espace L A B vaut plus qu'une fois cette bande.

Or, la ligne A L ne peut pas aller à droite de A B, quel que soit le nombre de fois qu'on place A B à côté de lui-même; il faut donc que A B rencontre C D. On raisonnerait de même s'il arrivait qu'en portant L A B un certain nombre de fois à côté de lui-même, il ne remplissait pas exactement l'espace L A N. Il suffirait de le porter une fois de plus, et alors il dépasserait l'espace L A N.

Il résulte de ce théorème, 1° que deux lignes parallèles A B, C D (fig. 28) ont une perpendiculaire commune C F. En effet, si C D n'était pas perpendiculaire à E F en même temps que A B, la ligne C D rencontrerait A B, et elles ne seraient plus parallèles.

2° Que par un point O on ne peut mener qu'une seule parallèle à une ligne M N (fig. 29); car, si du point O j'abaisse une perpendiculaire O M sur M N, cette perpendiculaire devra être perpendiculaire à toutes les droites parallèles à M N; si donc on pouvait mener deux parallèles à M N par le point O, on pourrait aussi, au point O, mener deux perpendiculaires à une même ligne; ce qui est impossible.

3° Quand deux parallèles A B, C D (fig. 30), sont rencontrées par une sécante E F, cette sécante fait avec les parallèles plusieurs angles. Ceux qui sont du même côté de la sécante, comme A O I, O I C, sont dits *intérieurs d'un même côté*. Les angles B O I, O I D, ont le même nom. Les angles A O I, O I D, s'appellent *alternes-internes*. Il en est de même des angles B O I, O I C. On appelle *internes-externes* les angles E O B, E I D, ou E O A, O I C, et *alternes-externes* E O B, C I F, ou A O E, D I F.

Plusieurs des angles dont nous venons de parler sont égaux. En effet, soit V le milieu de O I, de ce point j'abaisse une perpendiculaire V K sur A B, elle sera aussi perpendiculaire sur C D en S. Les triangles K V O, V I S, sont donc égaux, et il en résulte que l'angle A O I = O I D, c'est-à-dire que les angles *alternes-internes* sont égaux. Il est facile de voir que les angles intérieurs d'un même côté, comme B O I, O I D (fig. 31), pris ensemble, valent deux angles droits; car on a A O I + I O B = 2 droits, et aussi O I C + O I D = 2 droits, et à cause de A O I = O I C, il vient I O B + O I D = 2 droits. On voit aussi que les angles E O B et O I D sont égaux, puisque E O B = A O I, et A O I = O I D. Les angles E O B, O I D sont appelés correspondants.

Comme deux lignes parallèles A B, C D, ont une perpendiculaire commune E F, il est évident que ces parallèles sont partout également distantes (fig. 32): car, si on élève une seconde perpendiculaire I K à C D, elle sera aussi perpendiculaire à A B, et les triangles égaux E F K, K F I, donnent E F = K I.

Ce qui précède sert aussi à démontrer que les côtés opposés d'un parallélogramme sont égaux, ainsi que les angles opposés; il suffit de mener une diagonale et de comparer les triangles A B C, B C D (fig. 33).

Quand on mène deux diagonales dans un parallélogramme, ces diagonales se coupent mutuellement en deux parties égales, c'est-à-dire que D O = O A, et C O = B O; cela résulte encore de l'égalité des triangles C O A, B O D.

Proposition VIII. — La somme des trois angles d'un triangle quelconque A B C (fig. 34) équivaut à deux angles droits.

En effet, prolongeons la ligne B C; au point C, menons

C F parallèle au côté A B du triangle, on aura évidemment l'angle A B C = F C K comme correspondant. L'angle B A C = A C F, comme alternes-internes, par rapport à A C. Donc la somme des angles du triangle A B C est égale à la somme des trois angles qui sont autour du point C. Or, cette dernière somme vaut deux angles droits, donc la somme des trois angles d'un triangle vaut deux droits. — On voit en même temps que l'angle extérieur A C K = A B C + B A C. Connaissant la valeur de la somme des angles d'un triangle, il est facile de savoir à quoi est égale la somme des angles d'un polygone quelconque. Supposons qu'il s'agisse du polygone A B C D E fig. 35). Du point A menons les deux diagonales A C, A D; la somme des angles du polygone est évidemment la même que celle de tous ceux des triangles qu'on a ainsi formés, et la somme de ces angles est toujours égale au nombre des côtés du polygone moins deux. Ici il y a cinq côtés et trois triangles. Or, la somme des angles des trois triangles vaut 6 angles droits; donc celle des angles du polygone vaut aussi 6 angles droits. En général, si n est le nombre des côtés du polygone, n-2 sera le nombre des triangles, et 2 (n-2) la valeur de la somme des angles du polygone.

Proposition IX. — Dans un cercle quelconque, le diamètre est la plus grande corde.

En effet, si on joint C O et D O, on a évidemment C D < C O + O D, ou C D < A B (fig. 36).

Proposition X. — Dans un même cercle, ou dans des cercles égaux, les arcs égaux sont sous-tendus par des cordes égales, et réciproquement ces cordes égales sous-tendent des arcs égaux (fig. 37).

Soient deux cercles dont les rayons A C et E O sont égaux. Si l'arc A M D égale l'arc E N G, la corde A D sera égale à la corde E G; en effet, le demi-cercle A M D B pourra être placé sur le demi-cercle E N G F, de manière à coïncider parfaitement; mais alors l'arc A M D étant égal à l'arc E N G, le point D tombera sur le point G, et, par

suite, la corde A D sur la corde E G. Si la corde A D = E G, l'égalité des triangles A C D, E O G, fait voir qu'en les superposant, le rayon C D tombera sur le rayon O G, et le point D sur le point G, et, par suite, l'arc A M D sur l'arc E M G.

Proposition XI. — Le rayon C G (fig. 38), perpendiculaire à la corde A B, divise cette corde et l'arc sous-tendu en deux parties égales.

En effet, joignons C A, C B; ces rayons sont, par rapport à la perpendiculaire C D, deux obliques égales; donc elles s'écartent également de la perpendiculaire; donc A D = D B. A cause de cette égalité on peut dire que C D est une perpendiculaire élevée sur le milieu de A B; donc le point G est à égale distance des extrémités A et B, donc A G = B G; mais si la corde A G = B G, l'arc A G sera aussi égal à l'arc B G. On voit par là que le centre C, le milieu D de la corde A B, et le milieu G de l'arc sous-tendu par cette corde sont trois points situés sur une même ligne droite. Il s'ensuit que la perpendiculaire élevée sur le milieu d'une corde passe par le centre et par le milieu de l'arc sous-tendu.

Cette remarque peut servir quand il s'agit de diviser un angle ou un arc en deux parties égales.

1° S'il faut diviser l'arc A B (fig. 39) en deux parties égales, des points A et B comme centres, et avec un même rayon, on décrit deux arcs qui le coupent en D; par le point D et le centre C, on tire C D qui coupera l'arc A B en deux parties égales au point E.

S'il faut diviser en deux parties égales l'angle A C B, au point C comme centre, on décrit l'arc A B et on fait le reste comme il vient d'être dit; il est évident que la ligne C D divisera en deux parties égales l'angle A C B.

Deux cordes égales sont également éloignées du centre.

En effet, si les cordes (fig. 40) A B, C D, sont égales, en menant du centre O les perpendiculaires O M, O N, ces perpendiculaires coupent ces cordes en deux parties égales en M et N; de sorte que si on mène les rayons A O et C O, les triangles A O M, C O N, seront égaux; donc O M = O N.

Si la corde C D > A B (fig. 41), on peut par ce point C M mener une corde C I = A B; et si du point O on abaisse les perpendiculaires O M, O N, sur ces cordes, on a O M < O L et O L < O N,

donc O M < O M = O N. Or O N = O G, donc O M < O G; ce qui veut dire que plus une corde est grande, moins elle est éloignée du centre.

Deux parallèles A B, D C (fig. 42), interceptent sur la circonférence des arcs égaux A D, B E ; car si on mène le rayon C H perpendiculaire à l'une de ces parallèles, elle le sera aussi à l'autre; donc ce point H sera à la fois le milieu de l'arc A H B et celui de l'arc D H E; donc A H = B H, et D H = C H, d'où A H — D H = B H — E H ou A D = B E.

Cette propriété des parallèles ne cesserait pas d'avoir lieu, si l'une d'elles devenait tangente (fig. 42 *bis*), on aurait toujours H M = H U.

Proposition XII. — Par trois points A, B, C, non en ligne droite, on peut toujours faire passer une circonférence, mais on n'en peut faire passer qu'une (fig. 43).

Joignons A B et B C; sur le milieu de ces deux droites élevons deux perpendiculaires D E, F G, ces deux perpendiculaires se couperont en un point O; car si elles ne se coupaient pas, elles seraient parallèles, et alors la ligne A B perpendiculaire à D E le serait également à F G, et l'angle en K serait droit; ce qui est contre l'hypothèse; donc les deux lignes D E, F G, se couperont en un point O; or, les trois obliques O A, O B, O C, sont égales, donc la circonférence décrite du point O avec une de ces obliques comme rayon, passera par les trois points A, B, C. Il est facile de voir qu'on ne peut mener qu'un seul cercle par les trois points A, B, C. Ainsi il est prouvé qu'on peut toujours faire passer une circonférence par trois points non en ligne droite, et il est clair qu'on ne peut en mener plus d'une, puisque si on pouvait en mener une seconde, elle devrait avoir son centre à la fois sur D E et sur G F, c'est-à-dire à l'intersection de ces deux lignes qui ne peuvent se couper qu'en un seul point.

Quand on veut trouver le centre d'un cercle, on n'a qu'à prendre trois points A, B, C (fig. 43 *bis*), sur la circonférence, joindre ces trois points et élever sur le milieu des droites A B, B C, les perpendiculaires D E, G F, leur point de rencontre O sera le centre du cercle.

Proposition XIII. — La perpendiculaire B D,

(fig. 44), menée à l'extrémité du rayon C A, est une tangente à la circonférence.

Car toute oblique C E est plus longue que la perpendiculaire C A, donc le point E est hors du cercle; donc la ligne BD n'a que le point B de commun avec la circonférence; donc elle est tangente.

Proposition XIV. — Quand deux circonférences se coupent, la ligne qui passe par leurs centres est perpendiculaire à la corde qui joint les points d'intersection et la divise en deux parties égales.

Car la ligne A B (fig. 45) est une corde commune aux deux cercles; or, si au milieu de cette corde on élève une perpendiculaire, elle doit passer par chacun des deux centres C, O; mais par deux points donnés on ne peut mener qu'une seule ligne droite; donc la ligne CO est perpendiculaire sur le milieu de A B.

Lorsque la distance des centres de deux cercles est égale à la somme de leurs rayons, ces deux cercles seront tangents extérieurement; car s'ils avaient deux points communs A et B (fig. 46), en joignant BC et BO, on aurait $CO < BC + BO$; or BO serait dans ce cas égal à A O; donc $CO < CA + AO$, ce qui est absurde.

Si la distance des centres est plus courte que la somme des rayons, et si en même temps le plus grand rayon est moindre que la somme du plus petit et de la distance des centres, les deux cercles se coupent.

En effet, pour que l'intersection ait lieu, il faut pouvoir construire le triangle CAD (fig. 47); il faut donc que l'on ait $CD < CA + AD$, et $AD < CD + AC$. Or, toutes les fois que le triangle C A D pourra être construit, il est clair que les circonférences décrites des centres C et D, se couperont en A et B.

Si la distance des centres est égale à la différence des rayons, les deux cercles se touchent intérieurement (fig. 48). Ils n'ont que le point A de commun; car si B, par exemple, était un autre point commun, en joignant C B et DB, on aurait $CB < CD + DB$, ou à cause de $CB = CA$ et $DB = DA$, on aurait $CA < CA$, ce qui est absurde.

Proposition XV. — Si dans deux cercles égaux on fait deux angles au centre A C B, D C E, égaux, ces angles intercepteront sur la circonférence des arcs égaux A B, D E (fig. 49).

En effet, en plaçant ces angles l'un sur l'autre, de manière à faire coïncider le point A avec le point D, et le point B avec le point E; l'arc A B coïncidera avec l'arc D E. Réciproquement, si l'on suppose l'arc A B = D E, l'angle A C B sera égal à l'angle D C E; car, si ces angles ne sont pas égaux, soit A C B le plus grand, et soit A C O = D C E, on aura A O = D E; mais D E = A B, donc A O serait égal à A B, ce qui est impossible; donc l'angle A C B = D C E. Ce qui vient d'être dit va nous servir à démontrer que si, dans un même cercle, ou dans des cercles égaux, les angles au centre A C B, D C E (fig. 50), sont entre eux comme deux nombres entiers, les arcs interceptés A B et D E, seront entre eux comme ces mêmes nombres entiers.

Supposons, par exemple, que les angles A C B, D C E, soient entre eux comme 5 est à 3; ou si on veut, qu'un certain angle soit contenu 5 fois dans l'angle A C B, et 3 fois dans l'angle D C E; les angles partiels A C X, X C Y, etc., D C V, etc., étant égaux entre eux, les arcs A X, X Y, etc., D V, etc. sont aussi égaux entre eux, etc., donc on aura arc A B : arc D E :: 5 : 3; or, il est évident que le même raisonnement aurait lieu si, à la place de 5 et 3, on avait deux nombres quelconques m et n. Donc, si le rapport des angles A C B, D C E, peut être exprimé en nombres entiers, les arcs A B, D E, seront entre eux comme les angles A C B, D C E.

Le rapport dont nous venons de parler existe encore quand même celui des angles est exprimé par un nombre incommensurable; c'est-à-dire, qu'on a toujours A C B : D C E :: A B : D E.

Supposons le plus petit angle placé dans le plus grand (fig. 51); si la proposition énoncée n'a pas lieu, l'angle A C B sera à l'angle A C D comme l'arc A B est à un arc plus grand ou plus petit que A D; supposons cet arc plus grand, et représentons-le par A O, nous aurons A C B : A C D :: A B : A O; imaginons maintenant que l'arc A B soit divisé en parties égales, dont chacune soit plus petite que D O; il y aura au moins un point de division entre D et O; soit I ce point de division. Joignons C I; les arcs A B, A I, seront entre eux comme deux nombres entiers, et on aura

ACB : ACI :: AB : AI. Cette proportion, comparée à ACB : ACD :: AB : AO, donne ACD : ACI :: AO : AI.

Cette proportion est absurde, donc on ne peut supposer le quatrième terme de la première proportion < DE ; on ferait voir de même qu'on ne peut le supposer > DE, donc il lui est égal. Ainsi dans un même cercle deux angles au centre sont entre eux comme les arcs compris entre leurs côtés, donc $ACB = AB \times \frac{ACD}{AO}$. Si donc on suppose $ACD = I$, et $AO = I$, on aura $ACB = AB$.

MESURE DES ANGLES INSCRITS.

Proposition XVI. — L'angle inscrit BAD a pour mesure la moitié de l'arc BD, compris entre ses côtés (fig. 52).

En effet, si nous menons le diamètre AE et si nous joignons BC et CD, nous formerons un angle au centre BCD, qui a pour mesure l'arc BD ; il suffit donc de faire voir que la valeur de l'angle BAD est la moitié de celle de l'angle BCD. Or, le triangle BCA est isocèle, et par conséquent les angles BAC et CBA sont égaux ; mais l'angle extérieur BCE est égal à la somme des deux angles intérieurs BAC, CBA, ou bien égal à 2 BAC. Donc $BAC = \frac{BCE}{2}$. Pareillement $CAD = \frac{DCE}{2}$. Donc $BAC + CAD$ ou $BAD = \frac{BCE}{2} + \frac{DCE}{2}$, ce qui donne

$$BAD = \frac{BCD}{2}.$$

Si le centre C était situé hors de l'angle BAD (fig. 53), cet angle aurait toujours pour mesure la moitié de l'arc BD ; car en menant le diamètre AE, l'angle BAE aura pour mesure $\frac{BE}{2}$, et l'angle DAC aura pour mesure $\frac{DE}{2}$; donc leur différence BAD aura pour mesure $\frac{BE}{2} - \frac{DE}{2}$ ou $\frac{BD}{2}$.

Donc tout angle inscrit a pour mesure la moitié de l'arc compris entre ses côtés.

Il résulte de là que tout angle inscrit BA C (fig. 54) dans un demi-cercle, est un angle droit; car il a pour mesure le quart de la circonférence. Si on inscrit plusieurs angles dans un même segment, tous ces angles sont égaux comme ayant même mesure.

L'angle B A C (fig. 55), formé par une tangente et une corde, a pour mesure la moitié de l'arc A M C; car si au point A on mène le diamètre A E, l'angle B A E est droit et a pour mesure la moitié de la demi-circonférence A M E, et l'angle E A C a pour mesure $\frac{EC}{2}$; donc B A C a pour mesure la moitié de l'arc A M C. On ferait voir de même que l'angle C A D a pour mesure la moitié de l'arc A C.

Quand on connaît la mesure des angles, il est facile de résoudre le problème suivant :

Problème. Sur une droite donnée A B, décrire un segment capable d'un angle donné C (fig. 56).

Je prolonge A B vers D; au point B je fais un angle D B E = C. Au point B j'élève la perpendiculaire B O à B E; et sur le milieu de A B j'élève une perpendiculaire F M ; du point de rencontre I comme centre, et du rayon I B, je décris un cercle, et le segment A K B est le segment demandé; c'est-à-dire, tel que tous les angles A S B, A G B, etc., qui y sont inscrits, sont égaux à l'angle donné C; car ils ont pour mesure la moitié de l'arc A P B; mais l'angle A B Q, ou son égal D B E, a aussi cette mesure, et comme l'angle D B E = C, il s'ensuit que l'angle C a la même mesure; donc tous les angles inscrits dans le segment A K B sont égaux à l'angle C.

Problème. Mener une tangente à un cercle par un point A extérieur (fig. 57).

Soit A le point donné, on joint C A, et sur C A comme diamètre on décrit une circonférence qui coupe le cercle donné en M et N En joignant A M et A N, on aura deux tangentes qui satisfont à la question. En effet, menons C M et C N, les angles C M A, C N A, seront droits comme inscrits dans une demi-circonférence; il en résulte que C M est perpendiculaire à A M et C N à A N. Or, nous savons que la propriété de la tangente est d'être perpendiculaire à l'extrémité du rayon; donc A M et A N sont tangentes.

LIVRE II.

Mesure des surfaces et relations qui existent entre les figures semblables.

Proposition I. — Les parallélogrammes qui ont des bases égales et des hauteurs égales, sont équivalents.

Soient A B C E, (fig. 58), A B D F deux parallélogrammes qui jouissent de la propriété énoncée; les triangles B D C, A E F, sont égaux car B C = A E et B D = A F, comme côtés opposés de mêmes parallélogrammes, et en outre D C = E C — E D et F E = F D — E D; donc à cause de F D = E C, on aura E C — E D = F D — E D, ou D C = F E; les triangles A F E, B D C, sont donc égaux comme ayant les trois côtés égaux. Mais si de là figure totale A B C F on retranche le triangle B C D, il reste le parallélogramme A B D F; et si de cette même figure on retranche le triangle A F E, il reste le parallélogramme A B C E; donc les deux parallélogrammes A B D F, A B C E, qui ont même base A B et même hauteur, sont équivalents.

Il résulte de là que tout parallélogramme A B C D (fig. 59) est équivalent au rectangle A B E F qui a même base et même hauteur; un parallélogramme quelconque peut donc être converti en un rectangle équivalent.

Le triangle A B D (fig. 60) est la moitié du parallélogramme A B C D; il est donc aussi égal à la moitié du rectangle A B M N. Tous les triangles qui ont des bases égales et des hauteurs égales sont donc équivalents.

Nous voyons par là que si nous pouvons trouver la surface du rectangle, il sera facile d'en déduire celle du parallélogramme et du triangle.

Proposition II. — Deux rectangles quelconques A B C D, A E F D, qui ont même hauteur A D, sont entre eux comme leurs bases A B, A E.

Il peut se présenter deux cas : ou bien les bases A B, A E, ont une commune mesure, ou elles n'en ont pas; supposons le premier cas, et admettons que les bases soient entre elles comme les nombres 5 et 3; je divise A B en 5 parties égales, et A F en 3 parties égales. A chaque point de division j'élève une perpendiculaire à la base ; je forme ainsi 5 rectangles égaux entre eux dans le grand rectangle A B C D et 3 dans le petit. Donc on a A B C D : A E F D :: 5 : 3 ; ou bien puisque l'on a déjà A B : A E :: 5 : 3, il en résulte A B C D : A E F D :: A B : A E.

Si les bases sont incommensurables on raisonne comme on l'a fait dans la proposition XIV du livre Ier (fig. 62) Ainsi en appellant R et R' deux rectangles qui ont même hauteur H et dont les bases sont B et B', on a toujours R : R' :: B : B'. Le même raisonnement prouve que les surfaces de deux rectangles de même base sont entre elles comme leurs hauteurs.

Il résulte de ce qui vient d'être dit, que si nous avons deux rectangles quelconques R et r, dont les hauteurs sont H et h et les bases B et b, on aura toujours la proportion R : r :: B $\times$ H : $b \times h$.

En effet, concevons un troisième rectangle R' qui auroit pour hauteur, la hauteur H du premier, et pour base, la base b du second ; on aura évidemment R : R' :: B : b, puisque deux rectangles qui ont même hauteur sont entre eux comme leurs bases; mais on aura aussi R' : r :: H : h, puisque deux rectangles qui ont même base sont entre eux comme leurs hauteurs. En multipliant ces deux proportions l'une par l'autre et divisant les deux premiers termes par R', il viendra R : r :: B $\times$ H : $b \times h$, ce qui veut dire que deux rectangles quelconques sont entre eux comme les produits de leurs bases par leurs hauteurs. Ainsi le rapport des deux rectangles R et r peut se remplacer par $\frac{B \times H}{b \times h}$. Or, si nous prenons pour unité de rectangle celui dont la hauteur est égale à l'unité de longueur et la base aussi, on aura $b \times h = 1 \times 1$, et par suite $R = B \times H$. Le rectangle a donc pour mesure le produit de sa base par sa hauteur. La surface du parallélogramme et du triangle s'en déduit facilement d'après ce qui a été dit dans la proposition I.

Pour avoir l'aire d'un parallélogramme, on mesure la hauteur AB et on multiplie le nombre d'unités de longueur contenues dans A B par le nombre d'unités contenues dans la base C D.

Pour avoir la mesure du trapèze A B C D (fig. 64), on

le partage en deux triangles par la diagonale A C. Chacun des triangles A B D. A C D, a pour mesure le produit de la base par la moitié de la hauteur, ce qui donne pour l'aire du trapèze $\left(\frac{AB + DC}{2}\right)$ DM.

Or, si par le point O, milieu de BC, nous menons une parallèle E F à A D, les deux triangles C O E, B O F, seront égaux et on aura C E = B F; menons O I parallèle à A B; on aura évidemment $OI = \frac{DE + AF}{2}$ ou bien $OI = \frac{DC + CE + AB - BF}{2}$ $= \frac{DC + AB}{2}$.

La surface du trapèze est donc égale au produit O I × DM.

Proposition III. — Étant donné A C = A B + B C, faire voir que l'on a $\overline{AC}^2 = \overline{AB}^2 + \overline{BC}^2 + 2CD \times AC$ (fig. 64).

A cet effet, on construit le carré A C D E sur A C, et aussi le carré A B I F sur A B; on prolonge les côtés du carré A B I F jusqu'à la rencontre du carré fait sur A C. La figure totale, qui est le carré fait sur A C, comprend quatre parties bien distinctes: 1° A B I F, 2° I M D N, qui est le carré fait sur B C, 3° les rectangles E F I N et B C I M, qui sont égaux entre eux. Or, le rectangle B I M C est égal à BI × BC ou AB × BC. Ce qui fait donc pour les deux rectangles 2AB × BC; on a donc :

$$\overline{AC}^2 \text{ ou } (\overline{AB + BC})^2 = \overline{AB}^2 + \overline{BC}^2 + 2\, AC \times BC.$$

Pour trouver à quoi est égal le carré fait sur la différence des deux lignes AB, AC (fig. 66) ou BC, on construit le carré ABIF sur AB et celui ACDE sur AC. Pour trouver la valeur du carré fait sur A C, prolongeons CD, DE jusqu'en G et H, et faisons le carré FE M N, égal au carré fait sur B C.

Les deux rectangles C B I G, G N M D, ont chacun pour mesure AB × BC; si on les retranche de la figure entière A B I N M E qui a pour valeur $\overline{AB}^2 + \overline{BC}^2$, il est clair qu'il restera le carré ACDE. Ainsi on a la relation $\overline{AC}^2 = \overline{AB}^2 + \overline{BC}^2 - 2\, AB \times BC$.

Proposition IV. — Le carré construit sur l'hypothénuse d'un triangle rectangle, est égal à la somme des carrés construits sur chacun des deux autres côtés.

Soit A B C, le triangle proposé, rectangle en A (fig. 67). Formons un carré sur chaque côté du triangle; du point A, abaissons la perpendiculaire A O sur F G, qui rencontre l'hypothénuse en I; menons les diagonales A F et E C; les deux triangles A B F, E B C, seront égaux. Le triangle A B F équivaut à la moitié du rectangle B I F O, pareillement le triangle B E C équivaut à la moitié du carré A B E D, donc le rectangle B I FO est équivalent au carré A D E B. On ferait voir de même que le rectangle O I C G équivaut au carré A C M N; donc la somme des deux rectangles équivaut à la somme des deux carrés; ou bien, comme la somme des deux rectangles forme le carré B C F G fait sur l'hypothénuse, il en résulte que le carré fait sur l'hypothénuse est égal à la somme des carrés fait sur les deux autres côtés, ce qui s'exprime ainsi : $\overline{BC}^2 = \overline{AB}^2 + \overline{AC}^2$.

Soit A B C D (fig. 67 *bis*) un carré, A C sa diagonale; le triangle A B C étant rectangle et isocèle, on aura $\overline{AC}^2 = \overline{AB}^2 + \overline{BC}^2 = 2\overline{AB}^2$: le carré construit sur sa diagonale est double du carré fait sur le côté A B; en mettant cette relation en proportion, il vient $\overline{AC}^2 : \overline{AB}^2 :: 2 : 1$; ou, en en extrayant la racine carrée, $AC : AB :: \sqrt{2} : 1$; donc la diagonale d'un carré est incommensurable avec son côté.

Supposons qu'on veuille construire un carré qui soit égal à la somme ou à la différence de deux carrés dont les côtés sont représentés par A et par B.

Pour en faire un qui soit égal à leur somme on n'a qu'à tracer deux droites indéfinies DE, DF, qui se coupent à angle droit (fig. 68), prendre sur un des côtés une longueur D O = A et sur l'autre une longueur D I = B et joindre O I. Le carré fait sur O I sera évidemment égal à la somme des carrés faits sur A et B.

Si on veut en construire un qui soit la différence, on mènera toujours deux droites DE, DF, à angle droit (fig. 68 *bis*). On prendra sur DF une longueur DI égale à B, et du point I comme centre et avec A comme rayon, on décrira un cercle qui coupera D E en K; en joignant I K on aura $\overline{IK}^2 = \overline{ID}^2 + \overline{DK}^2$, ou

$\overline{DK}^2 = \overline{IK}^2 - \overline{ID}^2$; ainsi DK sera le côté du carré cherché.

Nous allons chercher maintenant quelle est la valeur du carré construit sur un côté AC opposé à un angle aigu dans un triangle ABC (fig. 69). Abaissons la perpendiculaire AD sur BC.

Le triangle rectangle ADC donne $\overline{AC}^2 = \overline{AD}^2 + \overline{DC}^2$, et le triangle rectangle ABD donne $\overline{AD}^2 = \overline{AB}^2 - \overline{BD}^2$. Donc on a $\overline{AC}^2 = \overline{AB}^2 - \overline{BD}^2 + \overline{DC}^2$. Mais DC est la différence des deux lignes BC et BD, ce qui donne $\overline{DC}^2 = \overline{BC}^2 + \overline{BD}^2 - 2\,BC \times BD$. Substituant cette valeur de $\overline{DC}^2$ dans celle de $\overline{AC}^2$ et réduisant, il vient $\overline{AC}^2 = \overline{AB}^2 + \overline{BC}^2 - 2\,BC \times BD$.

Si l'angle opposé au côté AC était obtus (fig. 70), on trouverait en abaissant la perpendiculaire AD sur BC prolongé, $\overline{AC}^2 = \overline{AB}^2 + \overline{BC}^2 + 2\,BC \times BD$: formule qui ne diffère de la précédente que par le signe du double rectangle. Ainsi l'on voit que la valeur du carré construit sur le côté d'un triangle est d'autant plus grande que l'angle opposé à ce côté est plus grand. D'après ce qui précède on voit que si, dans un triangle ABC (fig. 71), on joint le sommet A au milieu D du côté opposé, on a $\overline{AB}^2 + \overline{AC}^2 = 2\,\overline{BD}^2 + 2\,\overline{AD}^2$; car en menant la perpendiculaire AO, le triangle ACD donne $\overline{AC}^2 = \overline{AD}^2 + \overline{DC}^2 + 2\,DC \times CD$; et le triangle ABD donne $\overline{AB}^2 = \overline{AD}^2 + \overline{BD}^2 - 2\,BD \times CD$; faisant la somme et réduisant, en observant que $BD = CD$, il vient $\overline{AB}^2 + \overline{AC}^2 = 2\,\overline{BD}^2 + 2\,\overline{AD}^2$.

Il résulte aussi des considérations précédentes que, dans un parallélogramme quelconque, la somme des carrés des quatre côtés est égale à la somme des carrés des diagonales.

Proposition V. — Une ligne MN (fig. 72), menée parallèlement à la base BC d'un triangle ABC, divise les côtés en parties proportionnelles.

Joignez BN et MC, les deux triangles BMN, CMN, sont équivalents comme ayant même base et même hauteur. Les triangles AMN, MNB, dont le sommet commun est N, ont même hauteur, et sont entre eux comme leurs bases : ce qui donne AMN : MNB :: AM : MB. Pareillement les deux triangles AMN et MNC donnent AMN : MNC :: AN : NC; comme

le triangle M N B est équivalent au triangle M N C, les deux proportions ont un rapport commun, et il en résulte :

A M : M B :: A N : N C.

Cette propriété nous fournit le moyen de résoudre les problèmes suivants : partager une ligne A B (fig. 73) en tant de parties égales qu'on voudra, en cinq, par exemple. A cet effet, on mène la ligne indéfinie A M sous un angle quelconque ; on prend sur A M une partie A C d'une grandeur quelconque ; on porte A C cinq fois sur A M. On joint le dernier point de division D au point B ; puis on mène C O parallèle à B D : A O est la cinquième partie de la ligne A B ; car on a ; A C : A D :: A O : A B ; mais $AC = \frac{AD}{5}$; donc $AO = \frac{AB}{5}$.

Pour trouver une quatrième proportionnelle à trois lignes données A, B. C (fig. 74), on fait un angle quelconque M O N. Sur O M, on prend O I = A, O D = B ; et sur O N, O C = C. On joint C D, et par le point I, on mène I F parallèle à D C ; on a alors : O I : O D :: O C : O F, ou A : B :: C : O F ; O F est la quatrième proportionnelle cherchée.

Par un point donné O dans un angle B A C (fig. 75), pour tirer une ligne de manière que les parties comprises entre le point O et les deux côtés de l'angle soient égales, on mène, par le point O, O I parallèle à A B. On prend I D = A I ; et on mène D O G, ce qui donne D I : A I :: D O : O G ; mais D I = A I, donc D O = O G.

Proposition VI. — Une ligne A D (fig. 76), qui divise en deux parties égales l'angle B A C d'un triangle, divise la base B C en deux segments proportionnels aux côtés adjacents A B, A C.

En effet, si par le point B on mène une ligne B E, parallèle à A D, jusqu'à la rencontre de A C prolongé, on a dans le triangle B C E la proportion C D : D B :: C A : A E.

Mais le triangle B A E est isocèle ; car à cause des parallèles A D, B E, l'angle A B E = D A B, et l'angle A E B = B A D ; or, par hypothèse, D A B = D A C ; donc l'angle A B E = A E B, et par suite A E = A B ; et la proportion ci-dessus devient C D : D B :: C A : A B.

TRIANGLES SEMBLABLES.

Proposition VII.—Deux triangles qui ont les angles égaux, ont les côtés homologues proportionnels.

En effet, puisqu'ils ont les angles égaux, on peut les placer de manière à ce qu'ils aient les côtés parallèles et un sommet commun. et si on prolonge A B et D F jusqu'à leur rencontre en O, on obtiendra une figure A C D O qui est un parallélogramme. Le triangle O B F donne B A : A O :: B C : C F, à cause de A C parallèle à O F; et comme A O = C D, cette proportion deviendra B A : C D :: B C : C F : on a pareillement B C : C F :: A C : D F; donc les deux triangles A B C, D E F, qui ont les angles égaux, ont aussi les côtés homologues proportionnels.

Proposition VIII. — Deux triangles (fig. 78) sont semblables lorsqu'ils ont les côtés homologues proportionnels.

Soit A B : F D :: A C : D G :: B C : F G.

Au point F, je fais un angle G F O = A B C; et au point G, un angle F G O = A C B; l'angle F O G sera égal à l'angle B A C; donc les deux triangles A B C, F O G, sont équiangles, et donnent : B C : F G :: A B : F O, et B C : F G :: A C : G O; mais on a déjà B C : F G :: A B : F O, et B C : F G :: A C : D G; donc F O = F D, et G O = G D; ce qui prouve que le triangle F O G est égal au triangle F G D; mais, par construction, le triangle F O G est équiangle au triangle A B C; donc aussi les triangles F G D et A B C sont équiangles et par suite semblables.

Proposition IX.—Deux triangles (fig. 79) qui ont un angle égal compris entre des côtés proportionnels sont semblables.

Soit l'angle B A C = F D G, et soit A B : D F :: A C : D G; prenez A I = D F; et par le point I, menez I K parallèle à B C; on aura A B : A I :: A C : A K; mais on a déjà A B : D F :: A C : D G, ou à cause de A I = D F, A B : A I :: A C : D G : on prouve que A K = D G. Ainsi le triangle A I K = D F G; mais le triangle A I K est semblable au triangle A B C; donc D F G l'est aussi.

Proposition X. — Deux triangles sont semblables lorsqu'ils ont les côtés perpendiculaires chacun à chacun.

Soit ABC, DEF (fig. 80), deux triangles qui jouissent de la propriété énoncée; savoir que le côté D F est perpendiculaire à BC, le côté GF à AC, et le DG à A B. Soit M, N, P, les points de rencontre des côtés des triangles. Dans le quadrilatère MFNC, les angles CMF et CNF sont droits. La somme des deux angles NCM + NFM = 2 droits; or l'angle NFM=DFG; donc on a NCM + DFG = 2 droits; mais NCM+NCB = 2 droits aussi; donc l'angle N C B ou A C B = D F G.

Pareillement dans le quadrilatère ANGP, la somme des angles PAN + DGF vaut deux droits, et la somme des angles PAN + CAB vaut aussi deux droits; donc DGF=CAB. Quand deux angles d'un triangle sont égaux à deux angles d'un autre triangle, les deux angles restants sont aussi égaux entre eux : ainsi l'angle A B C = F D G. Les deux triangles A B C, F D G, sont donc équiangles et par suite semblables.

Deux triangles sont aussi semblables lorsqu'ils ont les côtés homologues parallèles ; car il est évident qu'alors ils sont équiangles.

Dans un triangle, il y a six parties à considérer : trois angles et trois côtés; pour qu'elles soient toutes déterminées, il suffit en général d'en connaître trois; mais il faut qu'il y ait au moins un côté parmi ces trois parties; car, avec trois angles donnés, on peut former une infinité de triangles lesquels ne sont pas égaux, mais seulement semblables.

Proposition XI. — Si du sommet A de l'angle droit d'un triangle rectangle ABC (fig. 81), on abaisse la perpendiculaire A D sur l'hypothénuse, les deux triangles partiels A B D, A D C, seront semblables entre eux et au triangle total.

Car le triangle D A B et le triangle BAC ont l'angle B commun; de plus, l'angle B A C est droit, ainsi que l'angle BDA; donc le troisième angle BAD de l'un est égal au troisième angle C de l'autre; donc ces deux triangles sont équiangles et semblables.

On ferait voir de même que le triangle DAC est semblable au triangle B A C; donc les trois triangles sont équiangles et sem-

blables entre eux. Il résulte de cette similitude qu'en comparant les côtés du triangle BAD aux côtés homologues du triangle BAC on peut former la proportion BD : AB :: AB : BC (1), et en comparant le triangle ADC au triangle BAC, on a de même (2) DC : AC :: AC : BC; donc chacun des côtés AB, AC, est moyen proportionnel entre l'hypothénuse et le segment adjacent. Si on compare les côtés homologues des triangles ABD, ABC, on a (3) BD : AD :: AD : DC, ce qui prouve que la perpendiculaire AD est moyenne proportionnelle entre les segments BD, DC, de l'hypothénuse.

Comme tout angle inscrit dans une demi-circonférence (fig. 81 *bis*) est un angle droit, il s'ensuit que, si du point *a* on abaisse la perpendiculaire AD, nous aurons aussi les proportions (1), (2), (3), ou bien en faisant le produit des extrêmes et celui des moyens :

$\overline{AB}^2 = BC \times BD$, $\overline{AC}^2 = BC \times DC$ et $\overline{AD}^2 = BD \times DC$.

On peut, au moyen des propriétés précédentes, trouver une ligne qui soit moyenne proportionnelle entre deux lignes données A et B.

A cet effet, on prend une ligne indéfinie MN (fig. 82), à partir d'un point quelconque O. On porte l'une à droite et l'autre à gauche les lignes A et B. Soit OD = A, et OC = B.

Sur CB, comme diamètre, on décrit une demi-circonférence; et si au point O on élève une perpendiculaire OG, on aura $\overline{OG}^2 = CO \times OB$, ou $\overline{OG}^2 = A \times B$; ainsi OG est la moyenne proportionnelle demandée.

On pourrait aussi sur une ligne MN (fig. 82 *bis*) prendre OB = A, et OI = B, décrire un demi-cercle sur OB, et au point I élever une perpendiculaire IG. On aurait évidemment, en joignant OG, $\overline{OG}^2 = OB \times OI = A \times B$.

Ainsi OG serait alors la moyenne proportionnelle entre A et B.

S'il s'agissait de construire un carré égal aux $\frac{2}{3}$ d'un carré donné C (fig. 83), on y parviendrait encore au moyen des considérations précédentes; à cet effet, sur une ligne indéfinie MN, je prends 5 divisions égales à partir d'une origine O. Sur OD comme diamètre, je décris un demi-cercle; au troisième point de division G, j'élève une perpendiculaire GF qui rencontre la circonférence en F. Je mène les cordes indéfinies FOI, FDS. Je prends sur FO une distance FV, égale au côté du carré C. Par ce point je mène

VH parallèle à MN, qui donne la proportion FV : FH :: FO : FD, ou (1) $\overline{FV}^2 : \overline{FH}^2 :: \overline{FO}^2 : \overline{FD}^2$. Or on a aussi, puisque le triangle OFD est rectangle en F, $\overline{FV}^2 : \overline{FD}^2$ :: OG : GD, ou $\overline{FO}^2 : \overline{FD}^2$ :: 3 : 2 (2), et en rapprochant les deux proportions (1) et (2), il vient $\overline{FV}^2 : \overline{FH}^2$ :: 3 : 2, et de là on tire $\overline{FH}^2 = \frac{2}{3}\overline{FV}^2$.

Ainsi le carré construit sur FH est égal aux $\frac{2}{3}$ du carré C.

Quand on sait trouver une moyenne proportionnelle entre deux lignes données, il est facile de convertir un triangle, un rectangle et une polygone quelconque en un carré équivalent.

Soit B la base d'un triangle, H sa hauteur, sa surface sera exprimée par $\frac{B \times H}{2}$; si on cherche une moyenne proportionnelle entre b et $\frac{H}{2}$; il vient, en nommant Y cette moyenne proportionnelle, B : Y :: Y : $\frac{H}{2}$, ou $Y^2 = \frac{BH}{2}$. Ainsi, le carré construit sur Y sera équivalent au triangle proposé. Pour avoir un carré équivalent à un parallélogramme, il faudrait chercher une moyenne proportionnelle entre la base B et la hauteur H de ce parallélogramme. Et enfin, pour avoir un carré équivalent à un polygone quelconque, il faudrait, avant tout, réduire ce polygone en un triangle équivalent, et pour cela soit ABCDF (fig. 84) un polygone; du sommet C je mène la diagonale CF; par le sommet D je mène une parallèle à cette diagonale qui rencontre AF prolongé en O.

Je joins CO, les triangles CFO, CDF, sont équivalents comme ayant même base et même hauteur; on peut donc les substituer l'un à l'autre, et alors le pentagone ABCDF est égal au quadrilatère ABCO.

En joignant CA et en menant par le point B une parallèle BI à CA, et en joignant CI, les triangles ABC, AIC, pourront aussi se substituer l'un à l'autre, et de cette manière le quadrilatère ABCO sera réduit au triangle ICO qui lui est équivalent. Il ne s'agit plus maintenant que de chercher une moyenne proportionnelle entre la hauteur de ce triangle et sa base IO; et le carré construit sur cette moyenne proportionnelle sera équivalent au polygone ABCDF.

Proposition XII. — Deux triangles A B C, E D F, qui ont les angles B A C, E D F égaux (fig. 85), sont entre eux comme les rectangles des côtés qui comprennent l'angle égal.

En effet, si nous plaçons l'angle E D F sur l'angle B A C, le triangle D E F prendra la position A E F. Joignons B F et E C, les deux triangles A B C et D E C ont même hauteur; ils sont entre eux comme leurs bases A E, A B. On a donc A B C : A E C :: A B : A E. De même les triangles A E F, A E C, ont même hauteur et sont entre eux comme leurs bases A F, A C, ce qui donne A E C : A E F :: A C : A F. Multipliant ces deux proportions terme à terme, on aura A B C : A E F :: A B × A C : A E × A F, ou bien, puisque A F et A E ne sont autre chose que D F et D B, on a : A D C : A E F :: A B × A C : D E × D F.

Proposition XIII. — Deux triangles semblables sont entre eux comme les carrés des côtés homologues (fig. 86).

En effet, puisque les triangles A B C, D E F, sont semblables, l'angle B A C = E D F. Et, d'après la proposition précédente, on a (1) A B C : D E F :: A B × A C : D E × D F. Or, on a aussi A B : D E :: A C : D F; et en multipliant cette dernière proportion par la proportion identique A B : D E :: A B : D E, il vient $\overline{AB}^2 : \overline{DE}^2$ :: A B × A B : D E × D F. Si à la place A B × A C : D E × D F dans la proportion (1) on met $\overline{AB}^2 : \overline{DE}^2$, il vient A B C : D E F :: $\overline{AB}^2 : \overline{DE}^2$.

Proposition XIV. — Deux polygones semblables sont composés d'un même nombre de triangles semblables, chacun à chacun, et semblablement disposés.

Soient A B C D E (fig. 87), *a b c d e*, les deux polygones proposés. Du point A, je mène les diagonales A C, A D; et du point *a* homologue à A, je mène les diagonales *a c*, *a d*; je partage ainsi chacun des polygones en trois triangles, et il faut faire voir que ces triangles sont semblables; puisque les polygones sont semblables, on a l'angle A B C = *a b c*, et de plus, les

côtés A B, B C, sont proportionnels aux côtés *a b*, *b c*; de sorte qu'on a : A B : *a b* :: B C : *b c*; il suit de là que les triangles A B C, *a b c*, ont un angle égal compris entre côtés proportionnels, donc ils sont semblables; donc l'angle B C A = *b c a*; ces angles égaux étant retranchés des angles égaux B C D, *b c d*, les restes A C D, *a c d*, seront égaux; mais puisque les triangles A B C, *a b c*, sont semblables, on a : A C : *a c* :: B C : *b c*; d'ailleurs à cause de la similitude des polygones, B C : *b c* :: C D : *c d*; donc A C : *a c* :: C D : *c d*; mais l'angle A C D, comme nous l'avons dit, est égal à l'angle *a c d*; donc les deux triangles A C D, *a c d*, sont semblables. On démontrerait de même que les triangles A E D, *a e d*, le sont; donc la proposition énoncée est vraie.

Les périmètres des deux polygones sont entre eux comme les côtés homologues; car, à cause de la similitude des polygones, on a : A B : *a b* :: B C : *b c* :: C D : *c d* :: D E : *d e* :: A E : *a e*, et de là on tire A B + B C + C D + D E + A E : *a b* + *b c* + *c d* + *d e* + *a e* :: A B : *a b* : les surfaces de ces polygones sont comme les carrés des côtés des polygones. Cela résulte immédiatement de la similitude des triangles dont ces polygones sont composés; car les triangles A B C, *a b c*, étant semblables, donnent A B C : *a b c* :: $\overline{AC}^2$: $\overline{ac}^2$; de même les triangles A C D, *a c d*, donnent A C D : *a c d* :: $\overline{AC}^2$: $\overline{ac}^2$. Donc à cause du rapport commun $\overline{AC}^2$: $\overline{ac}^2$, il vient : A B C : *a b c* :: A C D : *a c d*; on trouverait de même A C D : *a c d* :: A E D : *a e d*; de cette suite de rapports égaux, on conclurait que la somme des antécédents ou le polygone A B C D E est à la somme des conséquents ou le polygone *a b c d e*, comme un antécédent est à son conséquent ou comme $\overline{AB}^2$: $\overline{ab}^2$.

Proposition XV.—Si deux cordes AB, C D (fig. 88), se coupent dans un cercle en un point O, on a A O × O B = C O × O D.

Car en joignant A C et D B, on obtient deux triangles A O C, B O D, qui sont semblables, et la comparaison des côtés homologues donne la proportion A O : D O :: C O : O B, ou A O × O B = D O × C O.

Si au lieu de deux cordes on considère deux sécantes A B, A C (fig. 88 bis), on aura A B × A M = A C × A N; car en

joignant B N et E M, on obtient deux triangles A B M, A C N, qui sont équiangles, et par conséquent semblables; donc A B : A C :: A N : A M, ou A B $\times$ A M = A C $\times$ A N.

Si d'un point O, hors d'un cercle (fig. 88 *ter*), on mène une tangente A O et une sécante O I qui rencontre en M la circonférence; on aura O A^2 = O M $\times$ O I; car en joignant A I et A M, on obtient deux triangles O A M, A O I, semblables comme ayant l'angle O commun; l'angle O A I = A M O, comme ayant même mesure : il vient donc O M : O A :: O A : O I, ou bien O A^2 = O M $\times$ O I; ce qui veut dire que la tangente est moyenne proportionnelle entre la sécante et sa partie extérieure. On peut au moyen de ces propriétés diviser une ligne A B en moyenne et extrême raison. Pour cela au point B (fig. 89), on élève une perpendiculaire B O = $\frac{\text{A B}}{2}$. Du point O comme centre, avec O B comme rayon, on décrit un cercle qui sera tangent à A B.

On mène A O qui rencontre la circonférence en I, et on prolonge jusqu'en M : on a évidemment A M : A B :: A B : A I; prenant sur A B une quantité A F = A I, il vient A M : A B :: A B : A F, ou bien A M — A B : A B :: A B — A F : A F; or A N — A B = A M — I M = A I = A F, et A B — A F = B F; donc A F : A B :: B F : A F; et en mettant les moyens à la place des extrêmes A B : A F :: A F : B F; la ligne A B est donc divisée au point F en moyenne et extrême raison.

Proposition XVI. — Les polygones réguliers jouissent tous de la propriété de pouvoir être inscrits dans un cercle, et lui être circonscrits.

Soit A B C D E F (fig. 90) un polygone régulier, faisons passer une circonférence par les trois points F, E, D; soit O son centre, soit O P la perpendiculaire abaissée du point O sur le milieu de C D; joignons F O et O C. On peut placer le quadrilatère F E P O sur le quadrilatère O P, de manière à les faire coïncider; donc O C = F O. Ce qui fait voir que si une circonférence, dont le centre est en O, passe par le point F, elle doit aussi passer par le point C. Ainsi il est prouvé que la circonférence qui passe par les trois points F, E, D, passe aussi par le point C. On démontrerait de même qu'elle passe par les points B et A; donc elle passe par tous les sommets du polygone.

En second lieu par rapport à cette circonférence, tous les côtés F E, E D, D E, etc., sont des cordes égales : elles sont

donc également éloignées des centres; donc si du point O comme centre et du rayon C P, on décrit une circonférence, elle touchera chacun des côtés du polygone en son milieu, et la circonférence sera inscrite dans le polygone, ou le polygone circonscrit à la circonférence.

Problème. Inscrire un carré dans une circonférence (fig. 91).

On tire deux diamètres qui se coupent en angles droits; on joint les extrémités des diamètres, et la figure ainsi obtenue est un carré; car les angles A O D, D O B, etc., étant égaux, les cordes A D, B D, etc., le sont.

Le triangle A O D, étant rectangle, donne $\overline{AD}^2 = \overline{AD}^2 + \overline{OD}^2 = 2\,\overline{AO}^2$, A D : A O :: $\sqrt{2}$: 1; donc le côté du carré inscrit est au rayon, comme la racine carrée de 2 est à l'unité.

Problème. Inscrire un hexagone dans une circonférence.

Supposons le problème résolu et AB (fig. 92) le côté de l'hexagone; joignant A O, B O, l'angle A O B $= \frac{1}{6}$ de quatre angles droits ou $\frac{2}{3}$ d'angle droit. Les deux angles O A B et O B A valent ensemble $2 - \frac{2}{3}$ ou $\frac{4}{3}$ d'angles droits, et comme ils sont égaux, chacun vaut $\frac{2}{3}$ d'angle droit; donc le triangle A B O est équilatéral; donc le côté de l'hexagone inscrit est égal au rayon. Si on veut donc inscrire un hexagone régulier dans une circonférence, il faut porter le rayon six fois sur la circonférence, et on retombera sur le point dont on est parti. Il est clair que pour avoir le triangle équilatéral inscrit, il suffira de joindre deux à deux les côtés de l hexagone inscrit.

Problème. Étant donné un polygone régulier inscrit, circonscrire à la même circonférence un polygone régulier semblable.

Soit ABCDE (fig. 93) le polygone inscrit, O le centre du cercle, je mène O P perpendiculaire sur le milieu de A B, qui rencontre la circonférence en M. Au point M, je

mène une tangente I K; je mène de même O Q perpendiculaire sur B C, qui rencontre la circonférence en N. Au point N, je mène la tangente K L; je fais de même pour les autres côtés, et je détermine ainsi par ces tangentes un polygone qui est semblable au polygone inscrit. Pour le prouver, il faut faire voir que tous les côtés de ce polygone sont égaux entre eux; or les lignes A B, I K, sont parallèles ainsi que B C et K L, comme interceptant sur la circonférence des arcs égaux, donc l'angle A B C = I K L; de même RCD=KLV, etc.; donc les angles du polygone circonscrit sont égaux à ceux du polygone inscrit; de plus, à cause de ces mêmes parallèles, on a A B : I K :: O B : O K, et de même B C : K L :: O B : O K; donc A B : I K :: B C : K L; mais A B = B C; donc I K = K L; par la même raison, K L = L V, etc.; donc les côtés du polygone circonscrit sont égaux entre eux; donc le polygone régulier est semblable au polygone inscrit.

Proposition XVII. — Les périmètres des polygones réguliers d'un même nombre de côtés sont entre eux comme les rayons des cercles circonscrits et inscrits; leurs surfaces sont comme les carrés de ces mêmes rayons.

Soit A B (fig. 94) un côté de l'un des polygones O son centre, et O A le rayon du cercle circonscrit, et O D perpendiculaire sur A B le rayon du cercle inscrit; soit pareillement *a b* le côté d'un autre polygone semblable, *o* son centre, *o a* et *o d* les rayons des cercles circonscrit et inscrit. Les périmètres sont entre eux comme les côtés A B, *a b;* mais les angles O A B, *o a b,* sont égaux, comme étant chacun moitié de l'angle du polygone; il en est de même des angles O B A et *o b a;* donc les triangles A B C, *a b c*, sont semblables, ainsi que les triangles rectangles A D O, *a d o;* donc A B : *a b* :: A O : *a o* :: D O : *d o;* donc les périmètres des polygones sont entre eux comme les rayons A O, *a o*, des cercles circonscrits, et aussi comme les rayons D O, *d o,* des cercles inscrits.

Les surfaces de ces mêmes polygones sont entre eux comme les carrés des côtés homologues A B, *a b;* elles sont par conséquent aussi comme les carrés des rayons des cercles circonscrit et inscrit.

Proposition XVIII. — Étant donnée une circonférence, on peut toujours circonscrire et inscrire

deux polygones semblables et tels que leurs périmètres diffèrent d'une quantité aussi petite que l'on veut (fig. 95).

En effet, soit *a b c d e*, etc., une portion de polygone régulier inscrit d'un nombre n de côtés, et A B C D E, etc., une portion de polygone régulier semblable circonscrit. Désignons par R le rayon du cercle inscrit dans le polygone extérieur, et par r le rayon du cercle inscrit dans le polygone intérieur, de sorte que $R = OC$ et $r = om$; désignons aussi par P et p les périmètres des deux polygones, on aura $P : p :: R : r$, puisque les polygones réguliers sont entre eux comme les rayons des cercles inscrits. De cette proportion on tire : $P - p : P :: R - r : R$; d'où $P - p = \frac{P(R - r)}{R}$ (1). Si on démontre que la différence $R - r$ peut devenir aussi petite qu'on voudra, il sera démontré que la différence $P - p$ peut elle-même devenir aussi petite qu'on voudra.

Or, le triangle rectangle omc donne (1) $\overline{oc}^2 = \overline{om}^2 + \overline{mc}^2$. Mais $\overline{oc}^2 = R^2$, $\overline{om}^2 = r^2$ et mc est égal à $\frac{bc}{2}$; donc $\overline{mc}^2 = \frac{\overline{bc}^2}{4}$. Nous avons supposé que le nombre des côtés des polygones est n. Chaque côté sera donc égal à ce périmètre divisé par le nombre n de côtés; ce qui donne $\overline{bc}^2 = \frac{P^2}{n^2}$ et $\overline{mc}^2 = \frac{P^2}{4n^2}$; substituant donc (2) $R^2 = r^2 + \frac{P^2}{4n^2}$, ou $R^2 - r^2 = \frac{P^2}{4n^2}$, ce qui revient à $(R + r)(R - r) = \frac{P^2}{4n^2}$, ou enfin $(R - r) = \frac{P^2}{4n^2(R + r)}$.

Cette dernière équation prouve que la différence $R - r$ sera d'autant plus petite que l'on donnera à n une plus grande valeur, c'est-à-dire que l'on supposera le nombre des côtés des polygones plus grand ; or, comme on peut augmenter ce nombre à volonté, on peut aussi diminuer à volonté la difference $R - r$; mais alors l'équation (1) prouve que la différence $P - r$ peut devenir aussi petite qu'on voudra.

On ferait voir de même que la différence entre les surfaces de ces polygones peut devenir aussi petite que l'on veut en partant du principe que les surfaces des polygones réguliers sont entre

elles comme les carrés des rayons des cercles inscrit et circonscrit.

Maintenant remarquons que la circonférence est toujours renfermée entre les périmètres des deux polygones, quel qu'en soit le nombre des côtés ; or, puisque ces périmètres peuvent différer très peu l'un de l'autre, à plus forte raison la différence entre le périmètre du polygone circonscrit et de la circonférence peut-elle être petite. Il est évident aussi que la différence entre la surface du polygone circonscrit et celle du cercle peut devenir très petite.

On peut donc considérer la circonférence comme étant la limite du rapport des périmètres des polygones inscrits et circonscrits semblables, et le cercle comme étant la limite du rapport des surfaces de ces mêmes polygones.

Proposition XIX. — Les circonférences des cercles sont entre elles comme les rayons, et leurs surfaces comme les carrés des rayons.

Soient C et c deux circonférences dont les rayons sont R et r. Désignons par P le périmètre du polygone régulier d'un même nombre de côtés inscrit dans c.

On aura $P : p :: R : r$, ou (1) $Pr = pR$.

Mais $C > P$ et $c > p$; et si on multiplie le nombre des côtés des polygones, la différence entre les circonférences et les périmètres peut devenir aussi petite qu'on voudra ; on peut donc poser $C = P + \alpha$ et $c = p + \delta$, α et δ pouvant passer par tous les états de grandeur ; on tire de ces égalités $P = C - \alpha$, $p = c - \delta$; remplaçant P et p par ces valeurs dans (1), il viendra $(C - \alpha)\, r = (c - \delta)\, R$, et en effectuant la réduction, $Cr - \alpha r = cR - \delta R$. Cette équation contient deux sortes de termes, les uns constants et les autres affectés de α et δ qui sont variables; faisant passer dans un même membre ceux qui sont constants, et les autres dans l'autre membre, on aura $Cr - cR = \alpha r - \delta R$. Or, s'il pouvait y avoir une certaine différence λ entre Cr et CK, il faudrait que cette même différence existât entre αr et δR; mais la différence entre ces dernières quantités peut devenir moindre que λ en faisant varier α et δ; il n'y a donc pas de limite assignable à la différence entre Cr et cR, on peut donc poser $Cr = cR$, ce qui revient à : $C\, c :: R : r$; donc les circonférences sont comme les rayons.

En multipliant par 2 les deux termes du second rapport, il vient $C : c :: 2R : 2r$; c'est-à-dire que les circonférences sont aussi entre elles comme les diamètres.

Si on désigne par S et s les surfaces des polygones dont P et p sont les périmètres, et par X et Y les surfaces des cercles correspondants, on aura $S : s :: R^2 : r^2$, ou (2) $Sr^2 = sR^2$; mais $X > S$ et $Y > s$, on peut donc poser $X = S + \alpha$ et $Y = s + \delta$; en désignant par α et δ des quantités variables, et pouvant passer par tous les états de grandeur, on en tire $S = X - \alpha$ et $s = Y - \delta$, valeurs qui, substituées dans (2), donnent $(X - \alpha)\, r^2 = (Y - \delta)\, R^2$; et, en raisonnant comme plus haut, cela revient à $X : Y :: R^2 : r^2$; ce qui veut dire que les surfaces des cercles sont comme les carrés des rayons.

Proposition XX. — La surface du polygone régulier est égale à la moitié du produit de son périmètre par le rayon du cercle inscrit.

En effet, soit A B C D E F; soit O le centre du cercle inscrit dans ce polygone; si on partage ce polygone en triangles comme l'indique la figure, il est évident que chaque triangle a pour mesure sa base multipliée par la moitié du rayon O I, du cercle inscrit; en faisant la somme de ces triangles on aura la surface du polygone qui sera égale à $\frac{P \times R}{2}$, c'est-à-dire à son périmètre multiplié par la moitié du rayon du cercle inscrit.

Il est bien facile maintenant de trouver la surface du cercle.

En effet, soit S la surface d'un cercle dont la circonférence est C et R le rayon, et soit S' la surface du polygone régulier circonscrit à ce cercle, et P son périmètre, on aura (1) $S' = \frac{P \times R}{2}$. Mais $S' > S$ et $P > C$, et on peut poser $S' = S + \alpha$, $P = C + \delta$, α et δ étant des variables; mettant en valeur de S' et de P dans (1), il vient $S + \delta = \frac{(C + \delta)\, R}{2}$, et effectuant, $\delta + \alpha = \frac{C \times R}{2} + \frac{\delta \times R}{2}$, ou $\delta - \frac{C \times R}{2} = \frac{\delta \times R}{2} - \alpha$.

Et de là on tire, en raisonnant comme dans le théorème précédent, $\delta = \frac{C \times R}{2}$; c'est-à-dire, que la surface d'un cercle est égale à la circonférence multipliée par la moitié du rayon.

Le problème de la quadrature du cercle consiste à trouver un carré égal en surface à un cercle dont le rayon est connu ; or on vient de prouver que le cercle est équivalent au rectangle fait sur la circonférence et la moitié du rayon, et ce rectangle se change en un carré en prenant une moyenne proportionnelle entre la circonférence et la moitié du rayon; ainsi le problème de la quadrature du cercle se réduit à trouver la circonférence quand on connaît le rayon, et pour cela, il faut connaître le rapport exact de la circonférence au diamètre.

Proposition XXI. — Etant données les surfaces d'un polygone régulier inscrit et d'un polygone semblable circonscrit, trouver les surfaces des polygones réguliers inscrit et circonscrit d'un nombre de côtés double.

Soit A C (fig. 97) ce côté du polygone donné inscrit, E F, parallèle à A B, celui du polygone semblable circonscrit, C le centre du cercle; si on tire la corde M A et les tangentes A P, B Q, la corde A M sera le côté du polygone inscrit d'un nombre de côtés double, et P Q, double de P M, sera celui du polygone semblable circonscrit. Cela posé, comme la même construction aura lieu dans les différents angles égaux à A C M, il suffit de considérer l'angle A C M, et les triangles qui y sont contenus seront entre eux comme les polygones entiers. Soit A la surface du polygone dont A B est un côté, C la surface du polygone semblable circonscrit dont E F est un côté, A' la surface du polygone dont A M est un côté et B' celle du polygone semblable circonscrit; A et B sont connus, il faut trouver A' et B'.

Les triangles A C D, A C M dont le sommet commun est en A, sont entre eux comme leurs bases C D, C M ; d'ailleurs ces triangles sont comme les polygones A et A' dont ils font partie, donc A : A' :: C D : E M ; les triangles E A M, C E M, dont le sommet commun est en M, sont entre eux comme leurs bases C A, C E. Ces mêmes triangles sont comme les polygones A' et B dont ils font partie, donc A' : B :: C A : C E; mais à cause des parallèles A D, M C, on a C D : C M :: C A : C E; donc

$A : A' :: A' : B$, d'où $A'^2 = A \times B$ et $A' = \sqrt{A \times B}$ (1).

A cause de la hauteur commune C M, les deux triangles C M P, C P E, donnent C P M : C P E :: P M : P E ; mais la ligne C P

divisant l'angle MCE en deux parties égales, on a (VI, liv. II) QM : PE :: CM : CE :: CD : CA :: A : A'; donc CPM : CPE :: A : A', et par suite CPM : CPM + CPE ou CME :: A : A + A'. Mais CMPA ou ECMP et CME sont entre eux comme les polygones a' et b dont ils font partie, donc B' : B :: 2 A : A + A', et de là on tire $B' = \frac{2A \times B}{A + A'}$ (2).

Les expressions (1) et (2) vont nous servir maintenant pour la recherche du rapport de la circonférence au diamètre. Soit C (fig. 98) le centre du cercle, AB le côté du carré inscrit, EF le côté du carré circonscrit; nous savons que AB : BC :: $\sqrt{2}$: 1. Or BC est le rayon du cercle; si on le prend pour unité de longueur, il viendra $AB = \sqrt{2}$. Le côté du carré circonscrit EF = 2; donc la surface du carré inscrit = 2, et celle du carré circonscrit = 4. Maintenant si on fait A = 2 et B = 4, on trouvera par le problème précédent $A' = \sqrt{8} = 2{,}8284271$, nombre qui représentera l'octogone inscrit, et on aura aussi $B' = \frac{16}{2 + \sqrt{8}} = 3{,}3137085$ pour l'octogone circonscrit.

Connaissant ainsi les octogones inscrit et circonscrit, on trouvera, par leur moyen, les polygones d'un nombre de côtés double; il faudra de nouveau supposer A = 2,8284271, et B = 3,3137085, et on aura $A' = \sqrt{A \cdot B} = 3{,}0614674$, et $B' = \frac{2\,A + B}{B + A'} = 7{,}1825979$. Ensuite ces polygones de 16 côtés serviront à connaître ceux de 32.

En continuant ainsi de suite, le nombre qui exprime la surface du polygone circonscrit ira toujours en diminuant, tandis que celui qui exprime la surface du polygone inscrit ira en augmentant; le cercle est d'ailleurs toujours compris entre les deux polygones; donc à mesure que les chiffres des polygones deviennent les mêmes, le cercle met dans son expression ces chiffres communs aux deux polygones; le nombre de chiffres communs augmente nécessairement avec le nombre des opérations. Lorsque le nombre des côtés des polygones est égal à 32768, on trouve que le polygone inscrit = 3145926 et le polygone circonscrit égal à ce même nombre; on conclut de là que la surface du cercle = 3,145926. Or, nous avons vu que

la surface du cercle $= C \times \frac{R}{2}$ en désignant par C la circonférence, et par R le rayon ; mais, dans les calculs ci-dessus, nous avons supposé R = 1 ou c ; donc pour la surface du cercle $\frac{C}{2} = 3,145926$. Or, $\frac{C}{2}$ exprime le rapport de la circonférence au diamètre. Donc 3,145926, nombre qu'on représente ordinairement par π, est le rapport approché de la circonférence au diamètre. Le rapport $\frac{C}{2} = \pi$ nous apprend que C $= 2\ \pi$, c'est-à-dire que la circonférence est exprimée par le double du nombre π. Lorsque le rayon = 1, on aura donc $C = 2\ \pi R$, lorsque le rayon sera R. En substituant cette valeur de C dans l'expression $S = \frac{C \times R}{2}$, qui est celle de la surface du cercle, on aura $S = \pi R$, ce qut veut dire que la surface d'un cercle est égale au produit du carré de son rayon par le nombre constant π, qui représente le rapport de la circonférence au diamètre.

LIVRE III.

Des plans, des angles solides et des polyèdres.

DÉFINITIONS.

Une droite est dite perpendiculaire à un plan quand elle est perpendiculaire à toutes les droites qui passent par son pied dans le plan. Réciproquement, quand une droite est perpendiculaire à un plan, on dit que le plan est perpendiculaire à la droite.

Lorsqu'une droite et un plan ne peuvent pas se rencontrer, quelque prolongés qu'on les suppose, on dit que la droite est parallèle au plan, ou que le plan est parallèle à la droite. Pareillement, deux plans sont dits parallèles quand ils ne se rencontrent pas, à quelque distance qu'on les prolonge.

L'angle de deux plans est la quantité plus ou moins grande dont ils sont écartés l'un de l'autre; cette quantité se mesure par l'angle que font entre elles les deux perpendiculaires menées dans chacun de ces plans au même point de l'intersection commune. Si cet angle est droit, les deux plans sont perpendiculaires entre eux.

L'angle solide est l'espace angulaire compris entre plusieurs plans qui se réunissent en un même point; il faut au moins trois plans pour former un angle solide.

On appelle solide polyèdre, ou simplement polyèdre, tout solide terminé par des plans ou des faces planes On appelle en particulier tétraèdre le solide qui a quatre faces, hexaèdre celui qui en a six, etc.

L'intersection commune de deux faces adjacentes d'un polyèdre s'appelle arête.

On appelle polyèdre régulier celui dont toutes les faces sont des polygones réguliers égaux et dont tous les angles solides sont égaux entre eux. Le prisme est un solide compris sous plusieurs plans parallélogrammes, terminés de part et d'autre par deux plans polygones égaux et parallèles. Un prisme est droit, lorsque les côtés sont perpendiculaires aux plans des bases.

La hauteur du prisme est la distance des deux bases, ou la perpendiculaire abaissée d'un point de la base supérieure sur le plan de la base inférieure.

Le prisme, qui a pour base un parallélogramme, a toutes ses faces parallélogrammiques; il s'appelle parallélipipède. Le parallélipipède est rectangle lorsque toutes ses faces sont des rectangles.

Le cube, ou hexaèdre régulier, est un parallélipipède rectangle compris sous carrés égaux.

La pyramide est l'espace compris entre les différents plans passant par un même point F, et par les différents côtés d'un polygone A B C D E (fig. 99).

S en est le sommet, et A B C D E la base; l'ensemble des triangles S A B, S B C, etc., en forme la surface convexe.

La hauteur de la pyramide est la perpendiculaire S O abaissée du sommet sur la base.

Proposition I. — Deux lignes droites A B, A C (fig. 100), qui se coupent, sont dans un même plan, et en déterminent la position.

En effet, on peut concevoir un plan où se trouve la ligne AB. Si ensuite on fait tourner ce plan autour de AB, jusqu'à ce qu'il passe par le point C, alors la ligne AC, qui a deux de ses points A et C dans ce plan, y sera tout entière, puisque, suivant la définition du plan, dès qu'une ligne droite a deux points communs avec un plan, elle y est tout entière. Donc la position de ce plan est déterminée par la seule condition de renfermer ces deux droites AB, AC.

Il résulte de là qu'un triangle détermine la position d'un plan, ainsi que deux droites parallèles; on en déduit aussi que l'intersection de deux plans est une ligne droite; car, si dans les points communs aux deux plans on en trouvait trois qui ne fussent pas en ligne droite, les deux plans dont il s'agit, passant chacun par ces trois points, ne feraient qu'un seul et même plan, ce qui est contre l'hypothèse.

Proposition II. — Si une droite AB (fig 101) est perpendiculaire à deux droites BC, BD, qui passent par son pied dans un plan MN, elle sera perpendiculaire au plan MN.

Pour le démontrer, il faut prouver que la droite AB est perpendiculaire à toute autre droite BE, menée par son pied dans ce plan.

A cet effet, prolongez AB de l'autre côté du plan, d'une quantité BH = AB; menez la droite CD, qui coupe les lignes BC, BE, BD, en C, E et D; enfin tirez CA, DA, EA, CH, DH, EH.

L'angle ABC étant droit par hypothèse, il s'ensuit que BC est perpendiculaire au milieu de AH; donc AC = HC. Par une raison semblable, AB = HD; les triangles ACD, HCD, sont donc équilatéraux entre eux, et, par suite, l'angle ACE = HCE. Il résulte de là que les triangles ACE, HCE sont égaux comme ayant un angle égal compris entre deux côtés égaux chacun à chacun; donc AE = HE. Les triangles ABE, HBE, sont donc équilatéraux entre eux, et par conséquent les angles ABE, HBE, sont égaux; or ces angles sont adjacents, donc ils sont droits; donc AB est perpendiculaire à BE.

On démontrerait de même que AB est perpendiculaire à toute autre droite qui passe par son pied dans le plan; donc elle est perpendiculaire au plan.

La perpendiculaire AB est plus courte qu'une oblique quelconque AE; donc elle mesure la vraie distance du point A au plan MN.

Par un point B (fig. 102) donné sur un plan, on ne peut élever qu'une seule perpendiculaire à ce plan; car si on pouvait en élever deux, en menant, suivant ces deux perpendiculaires, un plan dont l'intersection avec le plan MN soit BC, alors les deux perpendiculaires dont il s'agit seraient perpendiculaires à la ligne BC, au même point et dans un même plan; ce qui est impossible.

Proposition III. — Si d'un même point on mène une perpendiculaire à un plan, et différentes obliques à ce plan, les obliques dont les pieds seront également éloignés du pied de la perpendiculaire seront égales (fig. 103).

Soit AB une perpendiculaire au plan MN, et AC, AD, AC, différentes obliques partant du même point A. Tirez BC, BD, BC'. Soit BC = BD, les triangles rectangles ABC, ABD, sont égaux; donc AC = AD, donc les obliques également écartées de la perpendiculaire sont égales. Soit BC < BE. Sur BE, prenez BF = BC, et joignez AF, on aura AF = AC; mais AF et AE étant dans un même plan avec la ligne AB, on a AF < AE, ou AC < AE; donc l'oblique la plus rapprochée de la perpendiculaire est la plus courte.

On déduit de là un moyen d'abaisser une perpendiculaire du point A sur le plan MN. A cet effet, prenez une droite rigide suffisamment longue, et, fixant une de ses extrémités au point A, marquez avec l'autre extrémité trois points A, D, F, sur le plan MN; d'après cette construction, les droites AC, AD, AF, sont des obliques égales; donc les points C, D, F, sont également éloignés du pied de la perpendiculaire demandée; donc le centre du cercle, décrit par ces trois points, est le pied de la perpendiculaire.

Proposition IV. — Si une droite AB (fig. 104) est perpendiculaire à un plan MN; si du pied de cette ligne on mène BE perpendiculaire à la droite CD, située dans le plan MN, et si on joint les points A et E, la droite AE, qui est oblique à l'égard du plan, sera perpendiculaire à CD.

Prenez EC = DE, et tirez BC, BD, AD, AC; puisque BE est

perpendiculaire à CD, et que EC = ED, on a BC = BD; or de ce que AB est perpendiculaire au plan MN, et que BD = BC, il en résulte que l'oblique AC = AD; donc chacun des points A et E est également distant de C et de D; donc AE est perpendiculaire à CD. On voit en même temps que CD est perpendiculaire au plan ABE, puisque CD est perpendiculaire à la fois à BE et à AE qui passent par son pied dans le plan.

Les deux lignes AB et DC ne se rencontrent pas, parce qu'elles ne sont pas situées dans un même plan : la plus courte distance de ces lignes est la droite BE, qui est à la fois perpendiculaire à AB et à DE. La distance BE est la plus courte entre ces deux lignes; car si on joint deux autres points comme A et D, on aura AD > AE, AE > BE; donc à plus forte raison AD > BC.

DROITES PARALLÈLES DANS L'ESPACE.

Proposition V. — Par un point, on ne peut mener dans l'espace qu'une seule parallèle à une droite donnée.

En effet, si par le point C (fig. 105) il y avait deux parallèles CD, CE, à la droite AB, chacune d'elles devrait être dans le plan conduit par la droite AB et par le point C; donc, dans ce plan, deux parallèles à une droite passeraient par le même point sans se confondre, ce qui est impossible.

2° Si la ligne AP (fig. 106) est perpendiculaire au plan MN, toute ligne DE, parallèle à AP, sera perpendiculaire au plan MN.

Suivant les parallèles AP, DE, conduisez un plan dont l'intersection avec le plan MN sera PD; dans le plan MN, menez BC perpendiculaire à PD, et joignez AD. En vertu de la proposition IV, AD est perpendiculaire à BC; donc BC est perpendiculaire aux deux droites PD et AD, et par suite au plan APDE. Il suit de là que l'angle BDE est droit; mais à cause que DE est parallèle à AP, l'angle EDP est droit aussi; donc ED est perpendiculaire aux deux lignes PD, BC; donc elle est perpendiculaire au plan.

Réciproquement, deux droites AP, DE, perpendiculaires au même plan sont parallèles.

Car, si DE n'était pas parallèle à AP, soit DO une parallèle à AB; d'après ce qui vient d'être dit, DO serait perpendiculaire au plan MN; donc il y aurait au point D deux perpendiculaires au plan MN, ce qui serait impossible.

DROITE ET PLAN PARALLÈLES.

Proposition VI. — Toute parallèle CD à une droite AB, située dans un plan MN, est parallèle à ce plan (fig. 107).

En effet, puisque les lignes CD, AB, sont parallèles, elles sont dans un plan dont l'intersection avec le plan MN est la droite AB; donc si CD rencontrait le plan MN, ce ne pourrait être qu'en un point de la droite AB; mais alors CD ne serait pas parallèle à AB, ce qui est contre l'hypothèse.

2° Si la ligne AB est perpendiculaire au plan MN, toute ligne AC perpendiculaire à celle-là est parallèle au plan MN (fig. 108).

La ligne AB étant perpendiculaire au plan MN, et AC étant perpendiculaire à AB, si AC rencontrait le plan MN, on pourrait joindre le point d'intersection O avec le point B, et former un triangle OAB qui aurait deux angles droits, ce qui serait absurde; donc la droite AC est parallèle au plan.

PLANS PARALLÈLES ENTRE EUX.

Proposition VII. — Lorsque deux plans MN, PQ, sont perpendiculaires à une même droite AB, ils sont parallèles entre eux (fig. 109).

Supposons que les plans MN, PQ, puissent, se rencontrer, et soit O un des points de rencontre, tirez AB et OA. La ligne AB étant perpendiculaire aux deux plans, le triangle OAB aurait deux angles droits, ce qui est impossible; donc les plans ne se rencontrent point.

2° Les intersections AB, CD, de deux plans pa-

rallèles MN, PQ, par un même plan RS, sont parallèles (fig. 110).

En effet, les droites AB, CD, ne peuvent se rencontrer; autrement, les plans MN et PQ se rencontreraient, et ne seraient pas parallèles; d'ailleurs ces droites sont dans un même plan RS; donc elles sont parallèles.

3° Les parallèles AB, CD, comprises entre deux plans parallèles MN, PQ, sont égales (fig. 111).

En effet, les plans MN, NQ (fig. 111), sont coupés par celui des deux lignes AB, CD, suivant deux droites BC, AD, parallèles; donc la figure ABCD est un parallélogramme; donc AB=DC.

4° Si deux angles non situés dans le même plan ont leurs côtés parallèles et dirigés dans le même sens, ces angles sont égaux et leurs plans sont parallèles (fig. 112).

Soient les droites AB, AC (fig. 112), respectivement parallèles à DE, DF; prenez AB = DE, AC = DF, et menez les droites BC, EF, AD, FC, BE.

Puisque AB est égale et parallèle à DE, la figure ABED est un parallélogramme, donc BE=AD; de même puisque AC est égale et parallèle à DF, on a CF=AD; donc CF est égale et parallèle à BE, et par suite BC=EF. Les triangles ABC, DEF, sont donc équilatéraux entre eux, donc l'angle BAC = EDF.

Je dis de plus que les plans ABC, DEF sont parallèles entre eux.

En effet, par le point D, menez un plan DE′F′ parallèle au plan ABC; et soient E′ et F′ les points où il coupe BE′ et CF′, les lignes AD, CF′, BF, seront égales, comme parallèles comprises entre plans parallèles; mais on a déjà AD=BE=CF; donc on aura BE=BE′ et CF=CF′. Il suit de là que le point E coïncide avec E′, le point F avec F′, et le plan DEF avec le plan DE′F′; donc le plan DEF est parallèle au plan ABC.

5° Trois plans parallèles P, Q, R, interceptent

sur deux droites quelconque A C, D F, situées dans l'espace, des parties proportionnelles (fig. 113).

Soient B et E les points où ces droites rencontrent le plan Q. Parallèlement à A C, menez D H qui rencontre les plans Q et R en G et H; joignez G E et H F; les droites G E et H F sont parallèles comme intersections des plans parallèles Q et R par le plan D F H; donc D G : G H :: D E : E F; mais D G = A B, et G H = B C: donc A B : B C :: D E : E F.

MESURE DE L'ANGLE DE DEUX PLANS.

Proposition VIII. — L'angle de deux plans ou l'angle dièdre, a pour mesure l'angle formé par les perpendiculaires menées dans les deux faces à un même point de l'arête (fig. 114).

Il faut démontrer avant tout que l'angle des perpendiculaires est le même, en quelque point de l'arête qu'il soit formé.

Et en effet, dans les faces B A M, B A N, menez les perpendiculaires A M et B P, A N et B Q sur l'arête A B; les droites A M et A N seront respectivement parallèles à B P, B Q; donc l'angle M A N = P B Q. Il faut prouver maintenant que l'angle des perpendiculaires varie dans le même rapport que l'angle des plans. Supposons que le plan B N, en tournant autour de A B, ait pris la position B A G, et que la perpendiculaire A N se soit placée en A G; comme le plan M A N est perpendiculaire à A B, la ligne A G doit être comprise dans ce plan; car toutes les perpendiculaires élevées en un même point d'une droite sont situées dans un plan perpendiculaire à la droite. Cela posé, je dis qu'on aura toujours

M A B N : M A B G :: M A N : M A G (1).

Considérons le cas où les angles M A N, M A G, ont une commune mesure, et représentons par m et n les nombres entiers qui expriment combien de fois ils la contiennent, de sorte qu'on ait:

M A N : M A G :: m : n.

Portez cette commune mesure dans l'angle M A N autant qu'elle y est contenue; cet angle sera partagé en m parties égales, et l'angle M A G en contiendra n. Menez des plans par l'arête A B et par chacune des divisions A X, A G, A R, de l'angle M A N, de cette

manière l'angle dièdre MABN sera décomposé en *m* parties; or, en prenant l'une de ces parties MABX, par exemple, et la faisant tourner autour de AB, il est évident que l'angle MAX ne quittera point le plan MAN, qu'il ira se placer successivement sur chacun des angles partiels XAY, YAG, et que par suite l'angle d'ordre MABX coïncidera lui-même successivement avec chacun de ceux qui composent l'angle dièdre MABN; l'angle dièdre MABN contient donc *m* fois l'angle partiel MABX, et l'angle dièdre MNBG le contient *n* fois; donc

MABN : MABG :: *m* : *n*.

En comparant cette proportion avec la précédente, on conclut :

MABN : MABG :: MAN : MAG.

Donc la proposition première est démontrée par le cas où les angles MAN, MAG, ont une commune mesure. Quand ces angles n'ont pas de commune mesure, on peut, au moyen du raisonnement connu, faire voir que la proposition première est encore vraie; donc, dans tous les cas, l'angle dièdre est mesuré par l'angle des perpendiculaires.

PLANS PERPENDICULAIRES ENTRE EUX.

Proposition IX. — La ligne AP étant perpendiculaire au plan MN, tout plan APB conduit suivant AP, sera perpendiculaire au plan MN (fig. 115).

Soit BC l'intersection des plans AB, MN; si dans le plan MN on mène DE perpendiculaire à BC, la ligne AP étant perpendiculaire au plan MN, sera perpendiculaire à chacune des droites BC, DE; mais l'angle APD, formé par les deux perpendiculaires PA, PD, à l'intersection commune PD, mesure l'angle des deux plans AB, MN; donc puisque cet angle est droit, les deux plans sont perpendiculaires entre eux suivant la définition.

2° Si le plan AB est perpendiculaire au plan MN, et que dans le plan AB on mène la ligne PA, perpendiculaire à l'intersection commune PB, je dis que PA sera perpendiculaire au plan MN.

Car si dans le plan M N on mène P D perpendiculaire à P B, l'angle A P D sera droit, puisque les plans sont perpendiculaires entre eux ; donc la ligne A P est perpendiculaire aux deux droites P B, P D, donc elle est perpendiculaire au plan M N.

3° Si deux plans A B, A D, sont perpendiculaires à un troisième M N, leur intersection commune A P sera perpendiculaire à ce troisième plan (fig. 116).

Si par le point P on élève une perpendiculaire au plan P M, cette perpendiculaire doit se trouver à la fois dans les deux plans A D, A B ; donc elle est leur intersection commune.

ANGLE TRIÈDRE.

Proposition X. — Dans un angle trièdre, chaque angle plan est moindre que la somme des deux autres (fig. 117).

Soit C S B le plus grand angle plan, faites sur son plan l'angle A S D = A S C ; tirez à volonté entre les arêtes S A et S B la droite A B, qui coupe S B en B sur la troisième arête. Prenez S C = S D ; enfin, menez C A, C B.

D'après la construction, les triangles A S D, A S C sont égaux, donc A D = A C ; mais on a A D + D B < A C + C B ; donc D B < C B. Ainsi dans les triangles S B D, S B C, on a S B commun, S D = S C, D B < C B ; et de là on conclut l'angle D S B < B S C. Ajoutant A S D d'une part et A S C de l'autre, il vient A S D + D S B, ou A S B < A S C + C S B.

Ainsi pour que l'on puisse former un angle trièdre avec trois angles plans, il faut toujours que le plus grand des trois angles plans soit plus petit que la somme des deux autres. Il résulte de ce qui vient d'être dit, que la somme des angles plans qui forment un angle solide quelconque est toujours moindre que quatre angles droits.

Soit S E A B C D (fig. 118) l'angle solide proposé, ayant mené un plan qui coupe les faces de l'angle solide S. Suivant le polygone A B C D E, prenez un point O dans l'intérieur du polygone, et joignez-le aux différents sommets A, B, C, D, E ; de cette manière,

vous formerez dans le polygone un nombre de triangles égal à celui de ceux qui se rencontrent au sommet S, et par conséquent la somme des angles des premiers est égale à celle des angles des derniers; cela posé, on a, d'après ce qui a été dit plus haut, $OAE+OAB<SAE+SAB$, $OBA+OBC<SBA+SBC$, etc. La somme des angles contigus aux points A, B, C, D, etc., est donc moindre dans les triangles du polygone que dans les triangles latéraux; donc, par compensation, la somme des angles en S est moindre que celle des angles en O; or cette dernière somme égale quatre angles droits; donc la somme des angles en S est moindre que quatre angles droits.

Proposition XI. — Lorsque deux angles trièdres ont leurs faces égales chacune à chacune, les angles dièdres, compris par les faces égales, sont égaux (fig. 119).

Supposons qu'on ait (fig. 119) $ASB=asb$, $ASC=asc$, $BSC=bsc$.

Prenez $SD=sd$. Dans les plans ASC, BSC, *asc*, *bsc*, élevez sur les arêtes *sb*, SC, les perpendiculaires DE, DF, *dε*, *d,f*, prenez $SG>SD$, tirez GH qui coupe SA en H et DE en K; tirez GI, qui coupe SB en I, et DF en L; joignez IH et KL. Prenez encore les distances $sg=SG$, $sh=SH$, $si=SI$, et achevez les constructions indiquées sur la figure.

Le triangle GHS est égal à *ghs*, GIS à *gis*, HSI à *hsi*, d'où il résulte que les triangles GHI, *ghi*, sont équilatèraux entre eux; donc l'angle $HGI=hgi$. L'égalité du premier triangle donne aussi l'angle $HGS=hgs$ et $IGS=igs$; d'ailleurs par construction, $DG=dg$; donc les triangles rectangles DGK, DGL, sont respectivement égaux aux triangles rectangles *dgk*, *dgl*. De là on conclut $GK=gk$, $GL=gl$; donc les triangles GKL, *gkl*, ont un angle égal compris entre côtés égaux; donc $KL=kl$; mais l'égalité des mêmes triangles rectangles donne encore $DK=dk$, $DL=dl$; donc les triangles DKL, *dkl*, sont égaux; donc enfin l'angle $KDL=kdl$; c'est-à-dire que les faces égales contiennent des angles dièdres égaux.

Deux angles trièdres sont égaux lorsqu'ils ont leurs faces égales, chacune à chacune, et semblablement disposées.

Soit (fig. 119) $ASB = asb$, $ASC = asc$, $BSC = bsc$; il est toujours possible de placer l'angle solide s dans l'angle solide S, de manière que la face $a\ s\ b$ coïncide avec son égale A S B, et que l'arête sc soit du même côté que S C, par rapport à cette face. Par hypothèse, les faces doivent être semblablement placées; et cette condition signifie qu'après les superpositions dont on vient de parler, les faces $a\ s\ c$, $b\ s\ c$, doivent avoir les arètes S A, S B, communes avec les faces, A S C B S C qui leur sont respectivement égales; mais d'après ce qui a été dit plus haut, les inclinaisons de $a\ s\ c$ et de $b\ s\ c$ sur la face $a\ s\ b$, sont égales aux inclinaisons de A S C et de B S C sur A S B; donc les plans $a\ s\ c$, $b\ s\ c$, doivent respectivement coïncider avec A S C, B S C; donc les angles trièdres sont égaux.

Proposition XII. — Deux prismes sont égaux lorsqu'ils ont un angle solide compris entre trois plans égaux chacun à chacun, et semblablement placés (fig. 120).

Soit la base $ABCDE = a\ b\ c\ d\ e$, la face $ABFG = abfg$, et la face $BCGH = b\ c\ g\ h$. Je dis que le prisme A B C I est égal au prisme $a\,b\,c\,i$.

Car soit posée la base A B C D E sur son égale $a\ b\ c\ d\ e$, ces deux bases coïncideront; mais les trois angles plans qui forment l'angle solide B sont égaux aux trois angles plans qui forment l'angle solide b, chacun à chacun; de plus, les angles sont semblablement placés; donc les angles solides B et b sont égaux, et, par conséquent, le côté B G tombera sur son égal $b\,g$. On voit aussi qu'à cause des parallélogrammes égaux A B G F, $a\ b\ g\,f$, le côté G F tombera sur son égal $g\ f$, et pareillement G H sur $g\ h$; donc la base supérieure F G H I K coïncidera entièrement avec son égale $f\ g\ h\ i\ k$, et les deux solides seront confondus en un seul, puisqu'ils auront les mêmes sommets.

Il résulte de là que deux prismes droits, qui ont des bases égales et des hauteurs égales, sont égaux.

Dans tout prisme A B C I (fig. 121) les sections M N O P Q, R S X Y Z, faites par des plans parallèles sont des polygones égaux; car les côtés M N, R S, sont parallèles, comme étant les intersections de deux plans parallèles par une troisième; ces

mêmes côtés sont compris entre les parallèles R M, S N; donc M N = R S.

Par une raison semblable, les côtés N O, O P, etc., sont égaux respectivement aux côtés S X, X Y, etc. D'ailleurs, les côtés égaux étant en même temps parallèles, il s'ensuit que les angles M N O, N O X, etc., de la première section, sont égaux aux angles, R S X, S X Y, etc., de la seconde; donc les deux sections sont des polygones égaux.

Proposition XIII. — Les deux prismes triangulaires A B D H E F, B C D F G H, dans lesquels se décompose le parallélipipède A G, sont équivalents entre eux (fig. 122).

Par les sommets B A F, menez perpendiculairement au côté B F, les plans B M N O, F I V K. Les sections B M N O, F I V K, seront des parallélogrammes égaux. Ces sections sont égales parce qu'elles sont faites par des plans perpendiculaires à une même droite, et par conséquent parallèles; elles sont des parallélogrammes égaux, parce que deux côtés opposés d'une même section M B, N O, sont les intersections de deux plans parallèles, A B F E, D C G H, par un même plan.

Par une raison semblable, la figure B M I F est un parallélogramme, ainsi que les autres figures latérales du nouveau solide; donc ce solide est un prisme, et ce prisme est droit puisque le côté B F est perpendiculaire au plan de la base; cela posé, si par le plan B F V N on divise le prisme droit en deux prismes triangulaires M N B V I F et B N O F V K, je dis que le prisme triangulaire oblique A B D E F H sera équivalent au prisme triangulaire droit M N B I F V.

En effet, ces deux prismes ayant une partie commune A B D V I F, il suffira de prouver que les parties restantes, savoir les solides B M A D N, F I E H V, sont équivalentes entre elles.

Or, à cause des parallélogrammes A B F E, M B I F, les côtés E A, I M, égaux à leur parallèle B F, sont égaux entre eux; ainsi, en ôtant la partie commune A I, il restera A M = I E; on prouvera de même que D N = H V. Maintenant pour opérer la superposition des deux solides B M A D N, F I E H V, plaçons la base F I V sur son égale B M N; alors ces deux solides coïncideront; donc le prisme oblique B A D F E H est égal au prisme droit

B M N F I V. On démontrera semblablement que le prisme oblique B D C F H G est égal au prisme droit B N O F V K ; mais les deux prismes droits sont égaux entre eux puisqu'ils ont même hauteur F, et que leurs bases sont moitié d'un même parallélogramme; donc les deux prismes triangulaires obliques sont aussi équivalents entre eux.

Proposition XIV. — Si deux parallélipipèdes A G, A L, ont une base commune A B C D, et que leurs bases supérieures soient comprises dans un même plan et entre les mêmes parallèles, ces deux parallélipipèdes seront équivalents (fig. 123).

En effet, puisque A E est parallèle à B F, et H E à G F, l'angle A E I = B F K, H E I = G F K et H E A = G F B.

De ces six angles, les trois premiers forment l'angle solide E, et les trois autres, l'angle solide F ; donc, puisque les angles plans sont égaux, chacun à chacun et semblablement disposés, il s'ensuit que les angles solides E et F sont égaux; maintenant si on pose le prisme A E M sur le prisme B F L, et d'abord la base A E I sur la base B F K, ces deux bases étant égales, coïncideront; et puisque l'angle solide E est égal à l'angle solide F, le côté E H tombera sur son égal F G ; il n'en faut pas plus pour prouver que ces deux prismes coïncideront dans toute leur étendue ; car la base A E I et l'arête E H déterminent le prisme A E M, comme la base B F K et l'arête F G déterminent le prisme B F L. ces prismes sont égaux ; mais si du solide total on retranche le prisme A E M, il restera le parallélipipède A I L; et si du même solide on retranche le prisme B F L, il restera le parallélipipède A E G ; donc les deux parallélipipèdes A I L, A E G, sont équivalents entre eux.

Il résulte de là que deux parallélipipèdes de même base et de même hauteur sont équivalents.

On peut aussi en conclure que tout parallélipipède peut être changé en un parallélipipède rectangle équivalent, qui aura une même hauteur et une base équivalente. Il suffira pour cela de convertir la base du solide proposé en un rectangle, et de mener des arêtes perpendiculaires à cette base jusqu'à la rencontre de la base supérieure du parallélipipède oblique ; et on déterminera ainsi un nouveau parallélipipède rectangle qui sera équivalent

au parallélipipède oblique, comme ayant même base et même hauteur.

Proposition XV. — **Deux parallélipipèdes rectangles AG, AL, qui ont même base ABCD, sont entre eux comme leurs hauteurs (fig. 124).**

Supposons d'abord que la hauteur AE, AI, soient entre elles comme deux nombres entiers m et n. On divisera AE en m parties, et AI en contiendra n. Par les points de division on mènera des plans parallèles au plan ABCD, et toutes ces sections seront égales. On aura donc dans le parallélipède AG, m petits parallélipipèdes, et le solide AL en contiendra n. Mais tous ces petits parallélipipèdes seront égaux comme ayant même base et même hauteur; on aura donc solide AG : solide AL :: $m : n$. Mais par hypothèse on a AE : AI :: $m : n$. On en conclut solide AG : sol. AL :: AE : AI. Si les hauteurs AE, AI n'avaient pas de commune mesure, on ferait comme on a indiqué dans la proposition XV, liv. 1[er], et on trouverait que les parallélipipèdes qui ont même base sont toujours entre eux comme leurs hauteurs.

Il n'est pas plus difficile de faire voir que deux parallélipipèdes rectangles qui ont même hauteur, sont entre eux comme leurs bases.

En effet, soient les deux parallélipipèdes AG, AK, qui ont même hauteur AE, je dis qu'ils sont entre eux comme leurs bases ABCD, AMNO; ayant placé les deux solides l'un à côté de l'autre comme la fig. 125 le représente, prolongez le plan ONKL jusqu'à ce qu'il rencontre le plan DCGH, suivant PQ, vous aurez un troisième parallélipipède AQ, qu'on pourra comparer à chacun des parallélipipèdes AG, AK. Les deux solides AG, AQ ayant même base AEHD, sont entre eux comme leurs hauteurs AO, AB; pareillement les deux solides AQ, AK, ayant même base AOLE, sont entre eux comme leurs hauteurs AD, AM; on aura donc : sol. AG : sol. AQ :: AB : AO, et sol. AQ : sol. AK :: AD : AM, multipliant ces deux proportions par ordre, et émettant, dans le résultat le multiplicateur commun sol. AQ; on aura sol. AG : sol. AK :: AB × AD : AO × AM, ce qu'il fallait démontrer.

Il résulte de ce que nous venons de dire que deux paralléli-

pipèdes rectangles sont entre eux comme les produits de leurs bases par leurs hauteurs. Soient P et p deux parallélipipèdes dont les bases sont B et b, et les hauteurs H et h, soit Q une troisième parallélipipède dont la hauteur est H et la base b, on aura P : Q :: B : b, et Q : p :: H : h. En multipliant ces deux proportions termes à termes, et supprimant Q, il vient P : p :: B $\times$ H : $b \times h$.

Cette dernière proportion va nous servir à trouver la solidité d'un parallélipipède rectangle; car on en tire : $\frac{P}{p} = \frac{B \times H}{b \times h}$; ou si on suppose qu'on ait construit un petit parallélipipède dont chaque côté soit égal à l'unité de longueur, alors p sera représenté par I et $b \times h$ aussi, on aura donc $P = B \times H$, ce qui veut dire que le parallélipipède rectangle a pour mesure le produit de sa base par sa hauteur. Or, tout parallélipipède peut être converti en un autre qui soit rectangle; donc tout parallélipède a pour mesure le produit de sa base par sa hauteur.

Nous avons démontré, proposition XIII, que tout prisme triangulaire est la moitié du parallélipipède de même hauteur et d'une base double; on peut donc dire que la solidité du prisme triangulaire est égal au produit de sa base par sa hauteur; tout prisme peut être partagé en autant de prismes triangulaires qu'on peut former de triangles dans le polygone qui lui sert de base; mais la solidité de chaque prisme triangulaire est égale à sa base multipliée par sa hauteur; et puisque la hauteur est la même pour tous, il s'ensuit que la somme de tous ces prismes partiels sera égale à la somme de tous les triangles qui leur servent de bases, multipliés par la hauteur commune.

DES PYRAMIDES.

Proposition XVI. — Si une pyramide S A B C D E est coupée par un plan $a\,b\,d$... parallèle à sa base, les arêtes ainsi que la hauteur de la pyramide seront divisées proportionnellement en a, b, c, d, e et o, et de plus la section $a\,b\,c\,d$...sera un polygone semblable à la base A B C D E (fig. 126).

En effet les plans A B C, $a\,b\,c$, étant parallèles, leurs intersections

A B, *a b*, par un troisième plan S A B, seront parallèles; donc les triangles S A B, *s a b*, sont semblables, et on a la proportion S A : *s a* :: S B : *s b*. On aurait de même S B : *s b* :: S C : *s c*, et ainsi de suite. La hauteur S O est coupée dans la même proportion au point *b*, car C O et *b o* sont parallèles, et on a ainsi S O : *so* :: S B : *s b*.

A cause des parallèles A B, *a b*, B C, *b c*, il vient l'angle A B C $=$ *a b c*, B C D $=$ *b c d*, ainsi de suite; de plus, à cause des triangles semblables S A B, *s a b*, on a : A B : *a b* :: S B : S *b*, et à cause des triangles semblables S B C, S *b c*, on a aussi S B : S *b* :: B C : *b c*; donc A B : *a b* :: B C : *b c*; on aurait de même B C : *b c* :: C D : *c d*, ainsi de suite; donc la section *a b c d* est semblable à la base A B C D, etc.

Soit S G H M une pyramide qui ait même sommet que la pyramide S A B C D, et dont la base G H M soit dans le plan de la base A B C D E. Si on coupe ces pyramides par un plan parallèle au plan des bases, et qu'il en résulte les sections *a b c d e*, *g h m*, les sections *a b c d e* et *g h m* seront entre elles comme les bases A B C D E, G H M.

En effet, les polygones A B C D E, *a b c d e*, étant semblables, leurs surfaces sont comme les carrés des côtés homologues A B, *a b*; mais A B : *a b* :: S A : S *a*; donc A B C D E : *a b c d e* :: $\overline{SA}^2$: $\overline{Sa}^2$. Par la même raison, G H M : *g h m* :: $\overline{SG}^2$: $\overline{Sg}^2$; mais on a aussi : S A : S *a* :: $\overline{SG}^2$: $\overline{sg}^2$; donc A B C D E : *a b c d e* :: G H M : *g h m*. Si les bases A B C D E, G H M, étaient équivalentes, les sections *g h m*, *a b c d*, seraient aussi équivalentes.

Proposition XVII. — Deux pyramides triangulaires qui ont des bases équivalentes et des hauteurs égales, sont équivalentes (fig. 127).

Soient S A B C, *s a b c* (fig. 127), les deux pyramides, dont les bases A B C, *a b c*, que nous supposons placées sur un même plan, sont équivalentes, et qui ont même hauteur. Si ces pyramides ne sont pas équivalentes, soit *s a b c* la plus petite, et soit A H la hauteur d'un prisme, qui, étant construit sur la base A B C, serait égal à leur différence.

Divisez la hauteur commune A V en parties égales plus petites

que A H, et par ces points de divisions faites passer des plans parallèles au plan des bases; les sections faites par chacun de ces plans dans les deux pyramides seront équivalentes, telles que D E F, *d e f*, etc. Cela posé, sur les triangles A B C, D E F, etc., construisez des prismes extérieurs qui aient pour arêtes les parties A D, D G, etc., du côté S A; de même, sur les triangles *d e f*, *g m i*, etc., pris pour bases; construisez dans la seconde pyramide des prismes intérieurs qui aient pour arêtes les parties correspondantes du côté *s a*, tous ces prismes partiels auront même hauteur. La somme des prismes extérieurs de la pyramide S A B C est plus grande que cette pyramide; la somme des prismes intérieurs de la pyramide *s a b c* est plus petite que cette pyramide; donc, par ces deux raisons, la différence entre les deux sommes des prismes devra être plus petite que la différence entre les deux pyramides. Or, à partir des bases A B C, *a b c*, le second prisme extérieur est équivalent au premier prisme intérieur *d e f a*, comme ayant une base équivalente et une même hauteur. Le troisième prisme extérieur est pareillement égal au deuxième intérieur, ainsi de suite jusqu'au dernier des uns et des autres; donc tous les prismes extérieurs de la pyramide S A B C, à l'exception du premier A B C D, ont leurs équivalents dans les prismes intérieurs de la pyramide *s a b c*; donc le prisme A B C D est la différence entre la somme des prismes extérieurs et intérieurs. Mais la différence de ces deux sommes est plus grande que la différence des deux pyramides; donc il faudrait que le prisme A B C D fût plus grand que le prisme dont A H est la hauteur; or, au contraire, il est plus petit, puisqu'ils ont une même base A B C, et que la hauteur de l'un est plus petite que la hauteur de l'autre; donc l'hypothèse dont on est parti ne saurait avoir lieu; donc les deux pyramides S A B C, *s a b e*, sont équivalentes.

Proposition XVIII. — Toute pyramide triangulaire est le tiers du prisme triangulaire de même base et de même hauteur (fig. 128).

Soit S A B C (fig. 128) une pyramide, A B C D E S un prisme triangulaire de même base et de même hauteur. Si on retranche du prisme la pyramide S A B C, il restera la pyramide quadran-

gulaire S A C D E; et si on fait passer un plan E S C par les arêtes S E, S C, ce plan partagera la pyramide quadrangulaire en deux pyramides triangulaires équivalentes, puisqu'elles ont même hauteur et une base équivalente; mais la pyramide S A B C est aussi équivalente aux pyramides S A E C, S E D C; car sa base A B C est égale à la base E S D de la pyramide S C D E, et sa hauteur est la même; donc le prisme triangulaire est la somme de trois pyramides triangulaires équivalentes, et il en résulte que la pyramide triangulaire a pour mesure le produit de sa base par le $\frac{1}{3}$ de sa hauteur.

Comme la base d'une pyramide quelconque peut être partagée en triangles, il s'ensuit qu'une pyramide quelconque n'est que la réunion d'un certain nombre de pyramides triangulaires; or chacune de ces dernières pyramides a pour mesure le produit de sa base par le $\frac{1}{3}$ de sa hauteur; une pyramide quelconque aura aussi pour mesure le produit de sa base, qui se composera de tous les triangles, par le $\frac{1}{3}$ de sa hauteur.

SOLIDITÉ DU TRONC DE PYRAMIDE TRIANGULAIRE.

Proposition XIX. — Soit A B C, D E F, le solide en question; en faisant passer un plan par les trois points A, F, C, j'en retranche la pyramide triangulaire F A B C, qui a pour base A B C, et pour hauteur, la hauteur du tronc de pyramide (fig. 129).

Après avoir retranché cette pyramide, il reste la pyramide quadrangulaire F A C E D, qu'on peut, au moyen du plan D F C, partager en deux pyramides triangulaires C F D E, C F D A; la première C F D E a pour base la base supérieure du tronc, et pour hauteur, celle du tronc. Il reste à considérer la troisième C F D A; or si on mène F M parallèle à A D, et qu'on imagine une nouvelle pyramide D A M C, dont le sommet est M et la base A D C, ces deux pyramides auront même base A D C; elles auront aussi même hauteur, puisque les sommets F et M sont

situés sur une ligne F M, parallèle à A D, et par conséquent parallèle au plan de la base; donc ces pyramides sont équivalentes; mais la pyramide D A M C peut être considérée comme ayant son sommet en D, et ainsi elle aura même hauteur que le tronc; quant à sa base A M C, elle est moyenne proportionnelle entre les bases A B C, D F E. En effet, les triangles A M C, D E F, ont un angle égal D = A, et un côté égal D F = A M; on a donc : A M C : D F E :: A C : D E. On a aussi : A B C : A M C :: A B : A M ou D F; mais les triangles semblables A B C, D F E, donnent A B : D F :: A C : D E; donc A B C : A C M :: A C M : D F E; et ainsi la base A C M est moyenne proportionnelle entre les bases supérieure et inférieure du tronc de pyramide. On peut donc dire que la solidité d'un tronç de pyramide triangulaire est égale à trois pyramides qui ont pour hauteur commune la hauteur du tronc; pour bases, l'une la base supérieure, l'autre la base inférieure, et la troisième une moyenne proportionnelle entre ces deux bases. En désignant B et *b* ses bases, et par H la hauteur, on aura l'expression :

$$\frac{1}{3} H \left(B + b + \sqrt{B \times b}\right),$$

qui sera celle du tronc de pyramide triangulaire.

LIVRE IV.

Du cylindre, du cône et de la sphère.

DÉFINITIONS.

La sphère est un solide terminé par une surface courbe, dont tous les points sont également distants d'un point intérieur qu'on appeler centre.

On peut imaginer que la sphère est engendrée par le mouvement de rotation d'un demi-cercle autour de son diamètre. On appelle zone la partie de la surface de la sphère comprise entre deux plans parallèles qui en sont les bases. Le segment sphérique

est la portion du solide de la sphère comprise entre deux plans parallèles qui en sont les bases.

On appelle cylindre le solide produit par la révolution d'un rectangle A B C D (fig. 130), qu'on imagine tourner autour du côté immobile A B. Dans ce mouvement, les côtés A D, B C, restant toujours perpendiculaires à A B, décrivent des plans circulaires égaux D H P, C G Q, qu'on appelle les bases du cylindre, et le côté C D en décrit la surface convexe. La ligne immobile A B est l'axe du cylindre. On appelle cône le solide produit par la révolution du triangle rectangle S A B qu'on imagine tourner autour du côté immobile S A (fig. 131).

Dans ce mouvement, le côté A B décrit un plan circulaire B D C E qui est la base du cône, et l'hypothénuse S B en décrit la surface. Le point S est le sommet du cône, S A l'axe ou la hauteur, et S B le côté ou l'apothème.

Si du solide S B D C E on retranche, par une section parallèle à la base, le cône S F H, le solide restant s'appelle tronc de cône.

DU CYLINDRE.

Proposition I. — **La solidité du cylindre est égale au produit de sa base par sa hauteur.**

Pour le prouver, nous allons employer une méthode analogue à celle que nous avons suivie pour trouver la surface du cercle.

Si l'on imagine que l'on ait circonscrit un prisme droit au cylindre, et que l'on désigne par P la surface de la base de ce prisme, par V son volume, par B la base du cylindre, et par S sa solidité, on a évidemment : $V > S$, et $P > B$. Or nous savons (prop. XVIII, liv. II) que la différence entre la surface du polygone circonscrit et celle du cercle peut devenir aussi petite que l'on veut, en multipliant convenablement le nombre des côtés du polygone. On peut donc poser $P = B + \alpha$; α étant susceptible de passer par tous les états de grandeur; mais à mesure que le polygone se rapproche du cercle, à mesure aussi le volume du prisme circonscrit s'approche du volume du cylindre; on aura donc $V = S + \delta$; δ étant un variable; nous savons d'ailleurs que la solidité du prisme est égale au produit de

sa base par sa hauteur, ce qui donne $V = PH$; H étant la hauteur du prisme et du cylindre, mettant dans cette équation les valeurs de V et de P, il viendra $S + \delta = H(B + \alpha)$, ou $S - BH = \alpha H - \delta$; et enfin, en raisonnant comme dans la proposition XVIII, livre II, il vient $S = BH$.

Or B est la base du cylindre qui est un cercle. Si on en désigne le rayon par R, on aura $B = \pi R^2$; et par suite, $S = \pi R^2 H$.

Proposition II. — La surface convexe d'un cylindre est égale à la circonférence de sa base multipliée par sa hauteur.

En effet, soit S cette surface ; désignons par S' la surface du prisme droit circonscrit, dont le périmètre de la base est P et H la hauteur. Nous pourrons encore poser $S' = S + \alpha$, et $P = C + \delta$, C désignant la circonférence de la base du cylindre ; mais la surface convexe du prisme droit est égale au périmètre de sa base multiplié par sa hauteur ; puisque cette surface est la somme des rectangles dont elle est composée, et que la somme de ces rectangles est égale au périmètre de la base du prisme multiplié par sa hauteur ; on a donc $S' = PH$; remplaçant S' et P par leurs valeurs $S + \alpha$, et $C + \delta$, il vient : $S + \alpha = H(C + \delta)$; d'où $S - C \times H = \delta H - \alpha$; donc enfin $S = C \times H$. Si R désigne le rayon de la base du cylindre, on aura $C = 2\pi R$; d'où $S = 2\pi RH$; π désignant comme plus haut le rapport approché de la circonférence au diamètre.

DU CONE.

Proposition III. — La solidité d'un cône est égale au produit de sa base par le tiers de sa hauteur.

Imaginons un cône dont la base est B, la hauteur H, et V le volume, et supposons qu'on ait circonscrit un polygone régulier à la base du cône, dont la surface soit S.

Si on joint tous les sommets de ce polygone au sommet du cône, on obtiendra une pyramide régulière circonscrite, dont je désigne le volume par V'. On aura évidemment $V' = \frac{1}{3} SH$ (1). Or on peut rendre la différence, entre la surface du

polygone et celle du cercle qui sert de base au cône, aussi petite que l'on veut, en multipliant les côtés de ce polygone; on peut donc poser $S = B + \alpha$, α étant une quantité susceptible de devenir moindre que toute grandeur donnée; mais à mesure que le polygone tend à s'approcher de la surface du cercle, à mesure aussi le volume V' de la pyramide circonscrite tend à s'approcher du volume V du cône. On aura donc $V' = V + \delta$, substituant les valeurs de V' et de δ dans (1), il vient $V + \delta = \frac{1}{3} H (B + \alpha)$; d'où $\delta = \frac{1}{3} B H$.

Or, si on désigne par R le rayon de la base du cône, on aura $B = \pi R^2$, et $V = \frac{1}{3} \pi R^2 H$.

On peut conclure de là que si un triangle B A C (fig. 132) et un rectangle B C E F de même base et de même hauteur tournent simultanément autour de la base commune B C, le solide décrit par la révolution du triangle B A C, sera le tiers du solide décrit par la révolution du rectangle B C E F.

Car si on abaisse la perpendiculaire A D, le cône décrit par le triangle A B D est le tiers du cylindre décrit par le rectangle A F B D; et de même, le cône décrit par le triangle A D C est le tiers du cylindre décrit par le rectangle A E C D. Donc la somme des deux cônes, ou le solide décrit par A B C, est le tiers du cylindre décrit par B C E F.

Proposition IV. — La surface convexe d'un cône est égale à la circonférence de sa base multipliée par la moitié de son côté (fig. 133).

En effet, soit C la circonférence du cône, L son côté, et S sa surface.

Soit P le périmètre d'un polygone régulier circonscrit, et S' la surface de la pyramide régulière, qu'on obtient en joignant les sommets du polygone au sommet du cône; le cône sera ainsi enveloppé dans une pyramide. Cette pyramide se compose de plusieurs triangles tels que S A C, S C D, qui sont tous égaux comme ayant une base égale, et une même hauteur S I qui est le côté du cône; donc la surface de la pyramide sera égale au

périmètre de sa base, multipliée par le côté S I du cône, que nous avons désignée par L. On aura donc $S' = \frac{1}{2} L P$ (2).

Mais on peut poser $S' = S + \alpha$, et $P = C + \delta$ volume qui substitué dans (2), donnent $S + \alpha. = \frac{1}{2} L (C + \delta)$, et enfin $S = \frac{1}{2} C L$. Or $C = 2 \pi R$, si R désigne le rayon de la base du cône; on a donc $S = \pi R L$.

SOLIDITÉ DU TRONC DE CONE.

Proposition V. — Le cône tronqué A D E B, dont A O, D P, sont les rayons des bases, et P O la hauteur, a pour mesure $\frac{1}{3} \pi \times O P (\overline{AO}^2 + \overline{DP}^2 + AO \times DP)$ (fig. 134).

Soit F G H (fig. 134) une pyramide triangulaire de même hauteur que le cône S A B, et dont la base F G H soit équivalente à la base du cône. On peut supposer que ces deux bases sont placées sur un même plan; alors les sommets S et F seront à égale distance du plan des bases; et le plan E P D prolongé, fera dans la pyramide la section I K L. Or cette section est équivalente à la base E P D; car les bases A B, D E, sont entre elles comme les carrés des rayons A O, D P, ou comme les carrés des hauteurs S O, S P; les triangles F G H, I K L, sont entre eux comme les carrés de ces mêmes hauteurs; donc les cercles sont entre eux comme les triangles F G H, I K L; mais, par hypothèse, le triangle F G H est équivalent au cercle A B; donc le triangle I K L est équivalent au cercle D E.

Maintenant la base $A B \times \frac{1}{3} S O =$ solidité du cône S A B; et la base $F G H \times \frac{1}{3} S O =$ solidité de la pyramide T F G H; donc la solidité de la pyramide est égale à celle du cône, à cause de l'égalité des bases. Par une raison semblable, la petite pyramide

T K I L = solidité du petit cône S D E; donc le tronc de cône est équivalent au tronc de pyramide. Mais la base F G H, équivalente au cercle, dont le rayon est $a\ o$, a pour mesure $\pi\ \overline{A\ O}^2$; de même, la base I K L $= \pi\ \overline{D\ P}^2$, et la moyenne proportionnelle, entre $\pi\ \overline{A\ O}^2$ et $\pi\ \overline{D\ P}^2$, est $\pi \times A\ O \times D\ P$. Donc la solidité du tronc de cône a pour mesure $\frac{1}{3}\ \pi\ O\ p\ (\overline{A\ O}^2 + \overline{D\ P}^2 + A\ O \times D\ P)$.

SURFACE CONCAVE DU TRONC DE CONE.

Proposition **VI. — La surface convexe du tronc de cône A D E B est égale à son côté A D multiplié par la demi-somme de ses bases A B, D E (fig. 135).**

Dans le plan S A B, qui passe par l'axe S O, menez perpendiculairement à S A la ligne A F, égale à la circonférence qui a pour rayon A O; joignez S F, et menez D H, parallèle à A F. A cause des triangles semblables S A O, S D C, on a : A O : D C :: S A : S D; et à cause des triangles semblables S A F, S D H, on a : A F : D H :: S A : S D; donc A F : D H :: A O : D C, ou comme circ. A O : circ. D O; mais, par construction, A F = circonférence A O; donc D H = circonférence D C. Cela posé, le triangle S C F, qui a pour mesure $A\ F \times \frac{1}{2}\ S\ A$, est égal à la surface du cône S A B, qui a pour mesure circonférence $A\ O \times \frac{1}{2}\ S\ A$. Par une raison semblable, le triangle S D H est égal à la surface du cône S D E; donc la surface du tronc A D E B est égale à celle du trapèze A D H F. Celle-ci a pour mesure $A\ D + \frac{(A\ F + D\ H)}{2}$. Donc la surface du tronc de cône A D C B est égale à son côté A D, multiplié par la demi-somme des circonférences de ses deux bases.

Si par le point I, milieu de A D, on mène I K L, parallèle à A B, et I M, parallèle à A F, on démontrera, comme ci-dessus, que I M = circonférence I K. Mais le trapèze A D H F $= A\ D \times I\ M = A\ D \times$ circonférence I K. Donc on peut dire

encore que la surface d'un tronc de cône est égale à son côté, multiplié par la circonférence d'une section faite à égale distance des deux bases.

Il résulte de là que si une ligne A D (fig. 136), située tout entière d'un même côté de la ligne O C, fait une révolution autour de O C, la surface décrite par A D aura pour mesure A D $\times$ circonférence I K, ou $2\,\pi$ I K A D; les lignes A O, D C, I K, étant des perpendiculaires abaissées des extrémités, et du milieu de la ligne A D sur l'axe O C.

D'après cela, il est facile de trouver la surface engendrée par une portion de polygone régulier A B C D E, qui tourne autour d'un axe fixe F G (fig. 137).

En effet, le point I étant le milieu de A B, et I K étant une perpendiculaire sur l'axe F G, la surface décrite par A B aura pour mesure A B $\times$ circonférence I K; menez A V, parallèle à l'axe, jusqu'à la rencontre en V de B N, et joignez O I; les deux triangles A B V, O I K, auront les côtés perpendiculaires chacun à chacun; donc on a : A B : A V :: O I : I K, ou :: circonférence O I : circonférence I K; donc A B $\times$ circonférence I K = M N $\times$ circonférence O I. D'où l'on voit que la surface décrite par A B est égale à sa hauteur M N, multipliée par la circonférence du cercle inscrit; de même, la surface décrite par B C = N P $\times$ circonférence O I; donc la surface décrite par la portion du polygone A B C a pour mesure (M N + N P) $\times$ circonférence O I, ou M P $\times$ circonférence O I. (O I étant le rayon du cercle inscrit), la surface entière, décrite par la révolution du demi polygone F A B C G, autour de F G, aura pour mesure F G $\times$ circonférence O I.

SURFACE DE LA ZONE ET DE LA SPHÈRE.

Proposition VII. — La surface d'une zone sphérique quelconque est égale à la hauteur de cette zone multipliée par la circonférence d'un grand cercle (fig. 138).

Soit B D A l'arc générateur de la zone à une base, dont la hauteur est B H.

Imaginons qu'on ait circonscrit une portion du polygone régulier E F G à l'arc B D A; il est toujours possible de multiplier

le nombre des côtés du polygone de manière que son périmètre s'approche de la circonférence autant qu'on veut, et alors aussi G M tend à devenir égal à B H, ou bien G H — B H peut devenir aussi petit que l'on veut; car puisque E A peut devenir aussi petit que l'on veut, et que E A ou B G > M H; M H peut lui-même passer par tous les états de grandeur; or on a : B G — M H = B G + B M — M B — B H = G M — B H; et puisque B G — M H peut devenir infiniment petit, il en résulte que G M — B H peut le devenir aussi.

Maintenant, remarquons que la surface engendrée par la portion du polygone régulier autour de G M, est égale à la circonférence O I × G M. Désignant par S' cette surface, et par S celle de la zone, on a :

$$S' = S + \alpha,$$
$$GM = BH + \delta,$$

Valeurs qui, substituées dans S' = circ. O I × G M, donnent S + α = circonférence O I (B H + δ); d'où S = B H × circonférence O I; ce qui veut dire que la surface de la zone est égale à la circonférence d'un grand cercle, multiplié par sa hauteur. Si on désigne par R le rayon O I, circonférence O I = 2 π R, et on a : S = 2 π R × B H.

Si l'arc B D A augmentait jusqu'à devenir égal à la demi-circonférence B A F, la surface engendrée par cet arc serait celle de la sphère; or cette surface n'est autre chose que celle d'une zone, dont la hauteur est égale au diamètre; on aura donc pour la surface de la sphère l'expression de la circonférence O I × B F; et en remarquant que B F = 2 R, et circonférence O I = 2 π R. La surface de la sphère s'exprime par $4 \pi R^2$. Cette valeur est celle de quatre grands cercles, dont le rayon est R. Ainsi la surface de la sphère est égale à celle de quatre grands cercles qui auraient le même rayon qu'elle.

S'il s'agissait de trouver la surface d'une zone à deux bases engendrées par F H autour de O Q (fig. 139), la surface de la zone décrite par l'arc F H est la différence entre les surfaces des zones décrites par D H et D F; or la zone décrite par D H a pour mesure 2 π R D Q, et la surface de la zone, décrite par F D, a pour mesure 2 π R D O; la différence de ces quantités est 2 π R (D Q — D O), ou 2 π R × O Q; et l'on voit que la surface de la zone à deux bases est égale à la circonférence d'un grand cercle multiplié par sa hauteur.

Proposition VIII. — Le triangle C A B étant supposé faire une révolution autour de la ligne C D, menée comme on voudra, hors du triangle par son sommet, trouver la mesure du solide ainsi engendré (fig. 140).

Prolongez le côté A B jusqu'à ce qu'il rencontre l'axe C D M D; des points A et B, abaissez sur l'axe les perpendiculaires A M, B N.

Le solide décrit par le triangle C A D a pour mesure $\frac{1}{3}\pi\,\overline{AM}^2\,CD$; le solide décrit par le triangle C B D A a pour mesure $\frac{1}{3}\pi\,\overline{BA}^2\,CD$; donc la différence de ces solides, ou le solide décrit par A B C aura pour mesure $\frac{1}{3}\pi\,(\overline{AM}^2 - \overline{BN}^2) \times CD$. On peut donner à cette expression une autre forme : du point I, milieu de A B, menez I K perpendiculaire à A C, et par le point B, menez B O parallèle à C D, on aura $AM + BN = 2\,IK$, $AM - BN = AO$; donc $\overline{AM}^2 - \overline{BN}^2 = 2\,IK \times AO$. La mesure du solide dont il s'agit est donc exprimée aussi par $\frac{2}{3}\pi\,IK \times AO \times CD$; mais si on abaisse C P perpendiculaire sur A B prolongé, les triangles A B O, C P D, seront semblables, et donneront $AO : CP :: AB : CD$; d'où résulte $AO \times CD = CP \times AB$; d'ailleurs $CP \times AB$ est le double de l'aire du triangle A B C; ainsi on a : $AO \times CD = 2\,ABC$; donc le solide décrit par le triangle a aussi pour mesure $\frac{4}{3}\,ABC \times IK$; ou, ce qui est la même chose : $ABC \times \frac{2}{3}$ circonférence I K; donc le solide décrit par la révolution du triangle A B C a pour mesure l'aire de ce triangle multiplié par les $\frac{2}{3}$ de la circonférence que décrit le point I, milieu de sa base.

Si le côté A C = C B, la ligne C I sera perpendiculaire à

A B; l'aire A B C sera égale à A B $\times \frac{1}{2}$ C I; et la solidité $\frac{4}{3}\pi \times$ A B C $\times$ I K deviendra $\frac{2}{3} \times$ A B $\times$ I K $\times$ C I. Mais les triangles A B O, C I K, sont semblables, et donnent la proportion A B : B O ou M N :: C I : I K; donc A B $\times$ I K = M N $\times$ C I; donc le solide décrit par le triangle isocèle A B C aura pour mesure $\frac{2}{3}\pi \times$ M N $\times \overline{\text{C I}}^2$.

Si on imagine qu'un secteur polygonal A B C (fig. 141) tourne autour de l'axe E D, ce secteur étant la somme des triangles isocèles A O R, A O B, etc., et chacun de ces triangles isocèles engendrant un solide qui a pour mesure $\frac{2}{3}\pi\overline{\text{O I}}^2$, multiplié par la distance comprise entre les pieds des perpendiculaires abaissées des points A B C D, il résulte que le secteur lui-même engendrera un solide dont l'expression est $\frac{2}{3}\pi$ O $\text{I}^2 \times$ E D.

Proposition IX. — **Tout secteur sphérique a pour mesure la zone qui lui sert de base multipliée par le tiers du rayon (fig. 138).**

Soit B O A (fig. 138) le secteur circulaire qui, par sa révolution autour de B H, engendre le secteur sphérique. Si on circonscrit une portion du polygone régulier à A B, le solide engendré par la surface polygonale sera égal à $\frac{2}{3}\pi\overline{\text{O I}}^2 \times$ G M.

Si on désigne par S le solide du secteur sphérique, et par S' celle du solide engendré par la surface du polygone, on aura S' $= \frac{2}{3}\pi\overline{\text{O I}}^2$ G M; mais on peut poser S' = S $+ \alpha$, et G M = B H $+ \delta$, ce qui donne S $+ \alpha =$ (B H $+ \delta$) $\times \frac{2}{3}\pi\overline{\text{O I}}^2$, et de là on tire, en remarquant que α et δ sont variables, S = $\frac{2}{3}\pi\overline{\text{O I}}^2$ B H; expression qui revient à S = 2 π O I B H $\times \frac{1}{3}$

O I. Or cette dernière expression se compose de deux parties distinctes : l'une $2 \pi O I \times B H$, qui est la surface de la zone qui serait engendrée par l'arc B A, et l'autre $\frac{1}{3}$ O I, qui est le tiers du rayon; on peut donc dire que le secteur sphérique a pour mesure la zone qui lui sert de base multipliée par le $\frac{1}{3}$ du rayon. En appelant R le rayon O I, il vient $S = \frac{2}{3} \pi R^2 B H$. Si l'on suppose maintenant que le secteur circulaire augmente jusqu'à devenir égal au demi-cercle, alors le solide engendré est une sphère entière; la zone est alors la surface de la sphère, et il vient $S = \frac{2}{3} \pi R^2 \times 2 R = \frac{4}{3} \pi R^2 \times \frac{1}{3} R$, c'est-à-dire que la solidité de la sphère est égale à sa surface, multipliée par le tiers du rayon; ce qui se met ordinairement sous la forme $\frac{4}{3} \pi R^3$, ou bien en appelant D le diamètre, on a $R = \frac{D}{2}$; d'où $R^3 = \frac{D^3}{8}$, et alors l'expression de la sphère devient $\frac{4}{3} \pi \frac{D^3}{8} = \frac{1}{6} \pi D^3$.

Proposition X. — **Le segment circulaire B M D étant supposé faire une révolution autour d'un diamètre extérieur à ce segment, trouver la valeur du solide engendré (fig. 142).**

Abaissez sur l'axe les perpendiculaires B E, D F, du centre C; menez C I perpendiculaire sur la corde B D, tirez les rayons C B, C D.

Le solide décrit par le secteur B C A $= \frac{2}{3} \pi \overline{C B}^2$ A E; le solide décrit par le secteur D C A $= \frac{2}{3} \pi \overline{C B}^2 \times$ A F; donc la différence de ces deux solides, ou le solide décrit par le secteur

$DCB = \frac{2}{3}\pi \overline{CB}^2 (AF - AE)$, ou bien $DCB = \frac{2}{3}\pi \overline{CB}^2 \times EF$; mais le solide, décrit sur le triangle isocèle DCB, a pour mesure $\frac{2}{3}\pi \overline{CI}^2 \times EF$; donc la différence entre $\frac{2}{3}\pi \overline{CB}^2$ EF et $\frac{2}{3} \overline{CI}^2 \times EF$ est la mesure du solide engendré sur le segment circulaire DMB qui est égal à $\frac{2}{3}\pi EF (\overline{BC}^2 - \overline{CI}^2)$; or dans le triangle rectangle CBI, on a $\overline{CB}^2 - \overline{CI}^2 = \overline{BI}^2 = \frac{1}{4}$; donc le solide, décrit par le segment BMD, aura pour mesure $\frac{2}{3}\pi EF \frac{1}{4} \overline{BD}^2$, ou bien $\frac{1}{6}\pi \overline{BD}^2 EF$.

Proposition XI. — Tout segment de la sphère compris entre deux plans parallèles a pour mesure la demi-somme de ses bases multipliées par sa hauteur, plus la totalité de la sphère dont cette même hauteur est le diamètre (fig. 142).

Soient BE, DF (fig. 142), les rayons des bases du segment et EF la hauteur, de sorte que le segment soit produit par la révolution de l'espace circulaire BMDEF autour de l'axe EF, le solide décrit sur le segment $BMD = \frac{1}{6}\pi \overline{DB}^2 \times EF$; le tronc de cône décrit par le trapèze $BDEF = \frac{2}{3}\pi EF (\overline{BE}^2 + \overline{DF}^2 + BE \times DF)$; donc le segment de la sphère qui est la somme de ces deux solides sera égale à $\frac{1}{6}\pi EF (2\overline{BE}^2 + 2DF + 2BE \times BF + \overline{BD}^2)$; mais en menant BO parallèle à EF, on aura $DO = FD - BE$, $\overline{DO}^2 = \overline{DF}^2 - 2DF \times BE + \overline{BE}^2$; et par conséquent, $\overline{BD}^2 = \overline{BO}^2 + \overline{DO}^2 = \overline{EF}^2 + \overline{DF}^2 - 2DF \times BE + \overline{BE}^2$; mettant cette valeur à la place de $\overline{BD}^2$ dans l'expression du segment, et effaçant ce

qui se détruit, on aura pour la solidité du segment $\frac{1}{6}\pi$ E F. $(3\,\overline{BE}^2 + 3\,\overline{DF}^2 + \overline{EF}^2)$, expression qui se décompose en deux parties; l'une $\frac{1}{6}\pi\,EF(3\,\overline{BE}^2 + 3\,\overline{DF}^2)$, ou $EF\frac{(\pi\,\overline{BE}^2 + \pi\,\overline{DF}^2)}{2}$ est la demi-somme des bases multipliées par la hauteur; l'autre $\frac{1}{6}\pi\,\overline{EF}^3$, représente la sphère dont E F est le diamètre; donc tout segment de la sphère....., etc.

TROISIÈME PARTIE.

TRIGONOMÉTRIE.

TRIGONOMÉTRIE RECTILIGNE (1).

La trigonométrie a pour objet spécial de résoudre les triangles, c'est-à-dire de déterminer leurs angles et leurs côtés par le moyen d'un nombre de données suffisant.

Dans les triangles rectilignes il suffit de connaître trois des six parties qui le composent, pourvu que parmi ces parties il y ait un côté, car si on ne donnait que les trois angles, il est visible que tous les triangles semblables satisferaient à la question.

DIVISION DE LA CIRCONFÉRENCE.

La circonférence a été divisée en 360 parties égales, appelées degrés, le degré en 60 minutes, la minute en 60 secondes, etc.

Les degrés, minutes, secondes, se désignent par les caractères, $^{\circ}$, $'$, $''$.

Le complément d'un angle ou d'un arc est ce qui reste en retranchant cet angle ou cet arc de 90°, ainsi A étant un angle, $90-A$ en est le complément. On voit donc que ce complément peut être positif ou négatif, suivant que A est plus petit ou plus grand que 90°.

Le supplément d'un angle ou d'un arc est ce qui reste en ôtant cet angle ou cet arc de 180°; le supplément de l'arc A est $180-A$; il peut être aussi positif ou négatif.

NOTIONS SUR LES LIGNES TRIGONOMÉTRIQUES.

Pour la résolution du triangle on emploie un certain nombre

(1) Exigée seulement pour le baccalauréat des sciences ès-mathématiques.

de lignes appelées trigonométriques, que l'on désigne par les noms suivants de

Sinus, Secante, Tangente,
Cosinus, Cosecante, Cotangente.

(Fig. 1). Le sinus de l'arc A M ou de l'angle A C M est la perpendiculaire M P abaissée d'une extrémité de l'arc sur le diamètre qui passe par l'autre extrémité.

Si à l'extrémité du rayon C A, ou même la perpendiculaire A T, jusqu'à la rencontre du rayon C M, prolongé la ligne A T, ainsi terminée s'appelle la tangente, et C T la sécante de l'arc A M, ou de l'angle A C M. Ces trois lignes M P, A T, C T, dépendantes de l'arc A M, et toujours déterminées par l'arc A M et le rayon, se désignent ainsi :

$$MP = \sin AM, \quad AT = \text{tang } AM, \quad TC = \sec AM.$$

Ayant pris l'arc A D, égal à un cadran, sur des points M et D, on mène les lignes M Q D C perpendiculaires au rayon C D, l'une terminée à ce rayon, l'autre terminée au rayon C M prolongée; les signes M Q. D S et C S seront pareillement les sinus, tangente et sécante de l'arc M D, complément de A M ; on les appelle pour abréger, les cosinus, cotangente et cosécante de l'arc A M ; on les désigne ainsi : $MQ = \cos AM$, $DS = \cos AM$, $CS = \text{cosec } AM$; en général, A étant un arc ou un angle quelconque on a

$\text{Cos } A = \sin (90^\circ - A)$, $\cos A = \text{tang } (90^\circ - A)$, $\text{cosec } A = \sec (90^\circ - A)$.

Supposons qu'une extrémité de l'arc demeure fixe en A, et que l'extrémité marquée en M parcoure successivement toute l'étendue de la demi-circonférence depuis A jusqu'à B, dans le sens A D B, en désignant par R le rayon du cercle, on aura

$\text{Sin } o = o$, $\text{tang } o = o$, $\cos o = R$, $\sec o = R$, quand $AM = 45^\circ$, alors :

$$\text{Tang } AM \text{ ou tan } 45^\circ = \cot 45^\circ = R.$$

$$\text{Sin } 45 = \cos 45 = \frac{1}{2} R \sqrt{2}$$

Quand $AM = 90$.

$\text{Sin } 90 = R$, $\cos 90 = o$, tang 90 est infinie, ce que l'on désigne de la manière suivante, $\text{tang } 90 = \infty$.

Le complément de 90° étant zéro on a $\text{tang. } o = \cot 90$ et $\cot o = \text{tang } 90$, donc $\cot o = \infty$ et $\cot 90 = o$.

L'arc augmentant encore, les sinus diminuent, les cosinus augmentent ; si l'on mène $M'M$ parallèle à AB, il est clair que les arcs AM, BM', compris entre parallèles seront égaux, ainsi que les perpendiculaires ou sinus MP, $M'P'$; mais l'arc $M'B$ est supplément de AM', puisque $AM' + BM'$ est égale à une demi-circonférence ; donc le sinus d'un arc ou d'un angle est égal au sinus du supplément de cet arc ou de cet angle. Ainsi l'on a :

$$\text{Sin } A = \sin(180 - A)$$

Les mêmes arcs AM', AM, qui sont suppléments l'un de l'autre, et qui ont des sinus égaux, ont aussi les cosinu égaux CP', CP ; mais il faut observer que ces cosinus sont dirigés dans des sens différents. Cette différence de situation s'exprime dans le calcul par l'opposition des signes ; de sorte que si on regarde comme positifs, ou affectés du signe $+$, les cosinus moindres que 90°, il faudra regarder comme négatifs ou affectés du signe $-$ les cosinus des arcs plus grands que 90 ; on aura donc en général :

$$\text{Cos } A = -\text{Cos}(180 - A)$$
$$\text{Ou } \cos(90 + B) = -\text{Cos}(90 - B)$$

C'est-à-dire que le cosinus d'un arc ou d'un angle plus grand que 90°, est égal au cosinus de son supplément pris négativement.

Le complément d'un arc plus grand que 90 est négatif, et son sinus aussi, de sorte que l'on a par exemple :

$$\text{Sin}(-45) = -\sin(45)$$

Quand l'angle est égal à la demi-circonférence, son sinus est zéro, et son cosinus est égal au rayon pris négativement.

$$\text{Sin}(180) = 0,\ \cos 180 = -R.$$

Examinons ce que devient la tangente d'un arc plus grand que 90°. Suivant la définition, elle doit être déterminée par le concours des lignes AT, CM'. Ces lignes ne se rencontrent point dans le sens AT, mais elles se rencontrent dans le sens opposé AV ; ce changement de direction produit un changement de signe. D'ailleurs, si on observe que AV est la tangente de l'arc AN, supplément de AM' (puisque NAM' est une demi-circonférence), on en conclura que la tangente d'un arc ou d'un angle plus grand que 90 est égale à celle de son supplément, pris négativement, de sorte que l'on a tang $A = -$ tang $(180 - A)$.

On a aussi pour la cotang.

$$\text{Cot } A = -\text{cot } (180-A)$$

Les tangentes et les cotangentes sont négatives, ainsi que les cosinus, depuis 90 jusque 180, et dans cette dernière limite on a tang 180 = 0, cot 180 = — cot 0 = — ∞.

Il est facile d'étendre ces observations au cot d'un cas compris entre 180 et 360. Généralement deux lignes trigonométriques sont toujours perpendiculaires à l'un ou à l'autre diamètre D C F, et A C B si elles sont perpendiculaires à un même diamètre et si elles sont de même nature ; elles auront le même signe si elles sont situées d'un même côté du diamètre, et des signes contraires si elles sont situées de côtés différents.

THÉORÈMES SUR LES LIGNES TRIGONOMÉTRIQUES.

Théorème. — Le sinus d'un arc est la moitié de la corde qui soutient un arc double.

Théorème. — Le carré du sinus d'un arc plus le carré de son cosinus étant égal au carré du rayon, de sorte que l'on a généralement : $\sin.^2 A + \cos.^2 A = R^2$.

Ces théorèmes sont évidents.

Théorème. — Étant donnés les sinus, cosinus, d'un arc, trouver les autres lignes trigonométriques.

Les triangles semblables C P M, C A T, C D S, nous donnent immédiatement

$$\text{Tang } A = R\frac{\sin A}{\cos A},\ \sec A = \frac{R^2}{\cos A}$$

$$\text{Cot } A = R\frac{\cos A}{\sin A},\ \text{cosec } A = \frac{R^2}{\sin A}$$

Ces formules nous montrent que $\text{cotang } A \times \text{tang } A = R^2$

Théorème. — Étant donnés les sinus et cosinus de

deux arcs A et B, on peut déterminer le sinus et cosinus de la somme ou de la différence de ces arcs (fig. 2).

Soit le rayon $AC = R$, l'arc $AB = a$, l'arc $BD = b$, par conséquent $ABD = a + b$. Des points B et D abaissez BE, DF perpendiculaires sur AC. Du point D menez DI perpendiculaire sur BC. Enfin, du point I menez IK perpendiculaire et IL parallèle à AC, les triangles semblables BCE, ICK, donnent les proportions

$$CB : CI :: BF : IK \text{ ou } R = \cos b :: \sin a : IK = \frac{\sin a \cos b}{R}$$

$$CB : CI :: CE : CK \text{ ou } R : \cos b :: \cos a : CK = \frac{\cos a \cos b}{R}$$

Leur triangle DIL, CBE, qui ont les côtés perpendiculaires chacun à chacun sont semblables, ce qui donne :

$$CB : DI :: CE : DL \text{ ou } R : \sin b :: \cos a : DL = \frac{\cos a \sin b}{R}$$

$$CB : DI :: BE : IL \text{ ou } R : \sin b :: \sin a : IL = \frac{\sin a \sin b}{R}$$

$$\text{Mais } IK + DL = DF = \sin(a+b)$$
$$\text{Et } CK - IL = CF = \cos(a+b)$$

$$\text{Donc } \sin(a+b) = \frac{\sin a \cos b + \sin b \cos a}{R}$$

$$\text{Cos}(a+b) = \frac{\cos a \cos b - \sin a \sin b}{R}$$

Maintenant si l'on prolonge le sinus DI jusqu'à ce qu'il rencontre la circonférence en M, on aura

$$BM = BD = b, \text{ et } MI = ID = \sin b$$

Par le point M menez MP perpendiculaire, et MN parallèle à AC; puisque $MI = DI$, on aura $MN = IL$, et $IN = DL$. Mais on a

$$IK - IN = MP = \sin(a-b)$$
$$\text{et } CK + MN = CP = \cos(a-b)$$

$$\text{donc } \sin(a-b) = \frac{\sin a \cos b - \sin b \cos a}{R}$$

$$\cos(a-b) = \frac{\cos a \cos b + \sin a \sin b}{R}$$

Si dans les formules précédentes on fait $b = a$ il vient

$$\sin 2a = \frac{2 \sin a \cos a}{R} \qquad \cos 2a = \frac{\cos^2 a - \sin^2 a}{R}$$

Si dans ces dernières on remplace a par $\frac{a}{2}$, il vient

$$\sin a = \frac{2 \sin \frac{1}{2} a \cos \frac{1}{2} a}{R} \qquad \cos a = \frac{\cos^2 a - \sin^2 a}{R}$$

Or, puisque on a tout à la fois $\cos^2 \frac{1}{2} a + \sin^2 \frac{1}{2} a = R^2$

et $\cos^2 \frac{1}{2} a - \sin^2 \frac{1}{2} a = R \cos a$ il en résulte

$$\cos^2 \frac{1}{2} a = \frac{1}{2} R^2 - \frac{1}{2} R \cos a \text{ et } \sin^2 \frac{1}{2} a = \frac{1}{2} R^2 - \frac{1}{2} R \cos a$$

$$\text{donc } \sin \frac{1}{2} a = \sqrt{\frac{1}{2} R^2 - \frac{1}{2} \cos a}$$

$$\cos \frac{1}{2} a = \sqrt{\frac{1}{2} R^2 + \frac{1}{2} R \cos a}$$

Ces formules donnent les sinus et cosinus de la moitié d'un arc en fonction du cosinus de cet arc.

Les formules qui donnent les développements du sinus $(a+b)$, et de $\cos (a+b)$, nous donnent en les ajoutant ou les retranchant deux à deux les formules suivantes :

$$\sin A \cos B = \frac{1}{2} R \sin (a+b) + \frac{1}{2} R \sin (a-b)$$

$$\sin B \cos A = \frac{1}{2} R \sin (a+b) - \frac{1}{2} R \sin (a-b)$$

$$\cos A \cos B = \frac{1}{2} R \cos (a-b) + \frac{1}{2} R \cos (a+b)$$

$$\cos A \cos B = \frac{1}{2} R \cos (a-b) - \frac{1}{2} R \cos (a+b)$$

Si dans ces formules on fait $a + b = p$, $a - b = q$, ce qui donne $a = \frac{p+q}{2}$ $b = \frac{p-q}{2}$, on en déduira :

$$\sin p + \sin q = \frac{2}{R} \sin \frac{1}{2}(p+q) \cos \frac{1}{2}(p-q)$$

$$\sin p - \sin q = \frac{2}{R} \sin \frac{1}{2}(p-q) \cos \frac{1}{2}(p+q)$$

$$\cos p + \cos q = \frac{2}{R} \cos \frac{1}{2}(p+q) \cos \frac{1}{2}(p-q)$$

$$\cos q - \cos p = \frac{2}{R} \sin \frac{1}{2}(p+q) \sin \frac{1}{2}(p-q)$$

Enfin, de ces dernières on tire par la division en ayant égard à ce que $\frac{\sin a}{\cos a} = \frac{\tang a}{R} = \frac{R}{\cos + a}$ celles qui suivent

$$\frac{\sin p + \sin q}{\sin p - \sin q} = \frac{\tang \frac{1}{2}(p+q)}{\tang \frac{1}{2}(p-q)}, \quad \frac{\sin p - \sin q}{\cos p - \cos q} = \frac{\tang \frac{1}{2}(p+q)}{R}$$

$$\frac{\sin p + \sin q}{\cos q - \cos p} = \frac{\cos \frac{1}{2}(p-q)}{R}, \quad \frac{\sin p - \sin q}{\cos p + \cos q} = \frac{\tang \frac{1}{2}(p-q)}{R}$$

$$\frac{\sin p + \sin q}{\cos q - \cos p} = \frac{\cot \frac{1}{2}(p+q)}{R}, \quad \frac{\cos p + \cos q}{\cos q + \cos p} = \frac{\cot \frac{1}{2}(p+q)}{\tang \frac{1}{2}(p-q)}$$

$$\frac{\sin p + \sin q}{\sin p + \sin q} = \frac{\cos \frac{1}{2}(p+q)}{\mathrm{co} \frac{1}{2}(p-q)}, \quad \frac{\sin (p+q)}{\sin p - \sin q} = \frac{\sin \frac{1}{2}(p+q)}{\sin \frac{1}{2}(p-q)}$$

CONSTRUCTION DES TABLES DE SINUS, COSIN., ETC.

Il existe quelques arcs dont les lignes trigonométriques peuvent être calculées directement. Ainsi, le côté de l'hexagone étant égal au rayon, la moitié de ce rayon est le sinus de l'angle de 30°. Le côté du décagone inscrit est donné par la proportion

$$R : x :: x : R - x$$

$$x^2 + Rx = R^2 \text{ et } x = -\frac{R}{2} \pm \sqrt{R^2 + \frac{R^2}{4}}$$

Ainsi $\frac{x}{2}$ est égal au sinus de l'angle de 18°.

Si donc on représente le rayon par un nombre, par l'unité par exemple, on aura rigoureusement la valeur numérique du sinus de l'angle de 30° et de 18°. Or, au moyen des formules précédentes on pourra calculer les valeurs des lignes trigonométriques des angles de

9°, 27°, 36°, 45°, 54°, 63°, 72°, 81°.

En effet, connaissant le sinus et cosinus des arcs de 9° et de 18° au moyen de la formule $\sin(a + b) = \sin a \cos b + \sin b \cos a$ on aura la valeur de sin 27 en faisant $b = 18$ et $a = 9$, car il viendra alors

$$\sin(27) = \sin 9 \cos 18 + \sin 18 \cos 9$$

Si dans cette équation tout est connu dans le second membre, en faisant $b = 18$ et $a = 18$ il viendra

$$\sin(36) = 2 \sin 18 \cos 18, \text{ etc.}$$

Pour calculer les lignes trigonométriques intermédiaires, on se fonde sur ce principe qu'un arc plus petit que 90° est toujours moindre que sa tangente et plus grand que son sinus, d'où il suit que quand un arc est assez petit pour que son sinus et sa tangente se confondent sensiblement, on peut prendre l'arc pour le sinus. Or la demi-circonférence, dont le rayon est 1, étant = 3. 14 15. . . ., et la demi-circonférence contenant 180 × 60 × 60 secondes en divisant π par ce nombre on aura la valeur de l'arc d'une seconde qu'on pourra prendre pour son sinus ; on pourrait alors calculer successivement de seconde en seconde les sinus de tous les arcs, et se servir pour vérification des moyens indiqués précédemment,

PRINCIPES POUR LA RÉSOLUTION DES TRIANGLES.

Théorème. — Dans tout triangle rectangle, le rayon est au sinus d'un des angles aigus, comme l'hypothénuse est au côté opposé à cet angle (fig. 3).

Soit A B C le triangle proposé rectangle en A. Du point C comme centre, et du rayon C D égal au rayon des tables, décrivez l'arc D E, qui sera la mesure de l'angle C; abaissez sur C D la perpendiculaire E F, qui sera le sinus de l'angle C; les triangles C B A, C E F, sont semblables et donnent la proportion

$$CE : EF :: CB : BA$$
$$\text{donc } R : \sin C :: BC : BA$$

si l'on suppose $R = 1$, il vient $BA = BC \sin C$.

Théorème. — Dans tout triangle rectangle, le rayon est à la tangente d'un des angles aigus, comme le côté adjacent à cet angle est au côté opposé (fig. 3).

Ayant décrit l'arc DE, on élève la perpendiculaire D G sur CD; ce sera la tangente. Par les triangles semblables C D G, C A B, on a

$$CD : DG :: CA : AB$$
$$\text{donc } R : \text{tang } C :: CA : AB \text{ si } R = 1$$
$$\text{on a } AB = \text{tang } C \times CA.$$

Théorème. — Dans un triangle rectiligne quelconque, les sinus des angles sont entre eux comme les côtés opposés.

Soit A B C le triangle proposé.

Il faut considérer deux cas. Celui où la perpendiculaire A D, abaissée du sommet sur le côté opposé B C, tombe au dedans, et celui où il tombe au dehors du triangle.

Dans le premier cas, les triangles rectangles ABD, ACD, donnent (fig. 4)

$$R : \sin B :: AB : AD$$
$$R : \sin C :: AC : AD$$

D'où l'on tire $\sin C : \sin B :: AB : AC$.

Dans le second (fig. 5), les triangles ABD, ACD, donnent

$$\mathrm{R} : \sin \mathrm{ABD} :: \mathrm{AB} : \mathrm{AD}$$
$$\mathrm{R} : \sin \mathrm{C} :: \mathrm{AC} : \mathrm{AD}$$

d'où $\sin \mathrm{C} : \sin \mathrm{ABD} :: \mathrm{AB} : \mathrm{AC}$, mais $\sin \mathrm{ABD} = \sin \mathrm{B}$,

donc $\sin \mathrm{C} : \sin \mathrm{B} :: \mathrm{AB} : \mathrm{AC}$.

Théorème. — Dans tout triangle rectiligne, le cosinus d'un angle est au rayon, comme la somme des carrés des côtés qui comprennent cet angle, moins le carré du troisième côté, est au double rectangle des deux premiers côtés (fig. 4).

Abaissons du sommet A une perpendiculaire AD sur le côté opposé, et si elle tombe au dedans on aura

$$\overline{\mathrm{AC}}^2 = \overline{\mathrm{AB}}^2 + \overline{\mathrm{BC}}^2 - 2\mathrm{BC} \times \mathrm{BD}$$

d'où $$\mathrm{BD} = \frac{\overline{\mathrm{AB}}^2 + \overline{\mathrm{BC}}^2 - \overline{\mathrm{AC}}^2}{2\mathrm{BC}};$$

mais dans le triangle rectangle ABD on a

$\mathrm{R} : \sin \mathrm{BAD} :: \mathrm{AB} : \mathrm{BD}$, d'ailleurs $\sin \mathrm{BAD} = \cos \mathrm{B}$,

donc $\cos \mathrm{B} = \dfrac{\mathrm{R} \times \mathrm{BD}}{\mathrm{AB}}$, et en substituant on trouve

$$\cos \mathrm{B} = \mathrm{R} \times \frac{\overline{\mathrm{AB}}^2 + \overline{\mathrm{BC}}^2 - \overline{\mathrm{AC}}^2}{2\,\mathrm{AB} \times \mathrm{BC}}.$$

Si la perpendiculaire tombe au dehors on trouve (fig. 5)

$$\overline{\mathrm{AC}}^2 = \overline{\mathrm{AB}}^2 + \overline{\mathrm{BC}}^2 + 2\,\mathrm{BC} \times \mathrm{BD},$$

Donc $\mathrm{BD} = \dfrac{\overline{\mathrm{AC}}^2 - \overline{\mathrm{AB}}^2 - \overline{\mathrm{BC}}^2}{2\,\mathrm{BC}}$; mais on a

$$\sin \mathrm{BAD} = \mathrm{Cos}\ \mathrm{ABD} = \frac{\mathrm{R} \times \mathrm{BD}}{\mathrm{AB}},$$

et d'ailleurs ABD est supplément de ABC, ou B, on a

donc $\cos \mathrm{B} = -\cos \mathrm{ABD} = -\dfrac{\mathrm{R} \times \mathrm{BD}}{\mathrm{AB}}$.

D'où $$\cos \mathrm{B} = \mathrm{R} \times \frac{\overline{\mathrm{AB}}^2 \times \overline{\mathrm{BC}}^2 \overline{\mathrm{AC}}^2}{2\,\mathrm{AB} \times \mathrm{BC}}.$$

Théorème. — Dans tout triangle rectiligne, la somme des deux côtés est à leur différence, comme la tangente de la demi-somme des angles opposés à ces côtés est à la tangente de la demi-différence de ces mêmes angles (fig. 4).

Car de la proportion A B : A C :: sin C : sin B, on tire A C + A B : A C — A B :: sin B + sin C : sin B — sin C; Mais nous avons vu précédemment que

$$\sin B + \sin C : \sin B - \sin C :: \text{tang}\left(\frac{B+C}{2}\right) : \text{tang}\frac{B-C}{2}$$

$$\text{donc } AC + AB : AC - AB :: \text{tang}\frac{B+C}{2} : \text{tang}\frac{B-C}{2}$$

RÉSOLUTION DES TRIANGLES RECTANGLES.

Appelons A, B, C, les trois angles du triangle; *a*, *b*, *c*, les trois côtés opposés.

A désignant l'angle droit, et *a* l'hypothénuse, nous aurons quatre cas à examiner.

1er *Cas.* — Étant donnés l'hypothénuse *a* et un côté *b*, trouver *c* et B et C.

La proportion $a : b :: R : \sin B$, détermine B. C = 90 — B.

$$c = \sqrt{a^2 - b^2}.$$

2e *Cas.* — Étant donnés *b* et *c*, trouver *a*, B, C.

La proportion $c : b :: R : \text{tang } B$, donne l'angle B.
C est égal à 90 — B.
a se détermine par la proportion $\sin B : R : b : a$.

3e *Cas.* — Étant donnés *a* et B, trouver *b* et *c*.

On fait les proportions $R : \sin B :: a : b$. $R : \cos B :: a : c$.

4ᵉ *Cas.* — Étant donnés b et B, trouver a et c.

$b : a :: \sin B : R$, et $R : \cos B :: b : c$.

RÉSOLUTION DES TRIANGLES RECTILIGNES.

Appelons A, B, C, les trois angles d'un triangle ; a, b, c, les trois côtés opposés. Il y a quatre cas à examiner :

1ᵉʳ *Cas.* — Étant donnés a et deux angles, trouver b et c.

Les deux angles connus déterminent le troisième.

Les proportions : $\sin A : \sin B : a : b$
$\sin A : \sin C :: a : c$
déterminent b et c.

2ᵉ *Cas.* — Étant donnés a, b et A, trouver c, B et C.

La proportion $a : b :: \sin A : \sin B$, donne B ou $180 - B$. L'angle cherché peut avoir deux valeurs, mais elles n'ont lieu qu'autant que A est aigu et que $b > a$. Si A est obtus, l'angle cherché ne saurait l'être, ainsi il n'y aura qu'une solution, et si R étant aigu on a $b < a$, il n'y a aussi qu'une solution.

Connaissant A et B on en conclut C, et ensuite c par la proportion

$$\sin A : \sin C : :: a : c.$$

3ᵉ *Cas.* — Étant donnés a, b et C, trouver A, B et c.

$$\frac{A + B}{2} \text{ est égal à } \frac{180 - C}{2}.$$

On aura la demi-différence en posant

$$a + b : a - b :: \operatorname{tang} \frac{1}{2}(A + B) : \operatorname{tang} \frac{1}{2}(A - B).$$

Et par suite on connaîtra A et B. Le côté c se détermine par la proportion $\sin A : \sin C :: a : c$.

4ᵉ *Cas.* — Étant donnés a, b, c, trouver A, B, C.

On sait que $\cos A = R\left(\frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}\right)$;

ce qui donne l'angle A. On trouverait par une formule semblable B et C; mais on y arrive plus commodément pour le calcul en remarquant que

$R^2 - R\cos A = 2\sin^2 \frac{1}{2} A$; substituant la valeur de cos A

il vient $2\sin^2 \frac{1}{2} A = R^2 \frac{(a^2 - b^2 - c^2 + 2bc)}{2bc} = R^2$
$\frac{(a^2 - (b - c)^2)}{2bc} = R^2 \frac{(a + b - c)(a - b + c)}{2bc}$,

donc $\sin \frac{1}{2} A = R\sqrt{\frac{(a + b - c)(a - b + c)}{4bc}}$.

TRIGONOMÉTRIE SPHÉRIQUE.

NOTIONS PRÉLIMINAIRES.

Considérations sur le triangle sphérique.

On appelle pôle d'un cercle de la sphère un point de la surface également éloigné de tous les points de la circonférence de ce cercle; on démontre que tout cercle tracé sur la sphère a deux pôles.

Un triangle sphérique est une partie de la surface de la sphère, composée par trois arcs de grands cercles; ces arcs, qui s'appellent les côtés du triangle, sont toujours supposés plus petits que la demi-circonférence; les angles que leurs plans font entre eux sont les angles du triangle.

Un triangle sphérique prend le nom de rectangle isocèle, équilatéral dans les mêmes cas qu'un triangle rectiligne.

Un polygone sphérique est une partie de la surface terminée par plusieurs arcs de grands cercles.

Une pyramide sphérique est la partie du solide de la sphère,

comprise entre les plans d'un angle solide, dont le sommet est au centre; la base de la pyramide est le polygone sphérique intercepté par les mêmes plans.

Proposition I. — Dans tout triangle sphérique un côté quelconque est plus petit que la somme des deux autres.

Cela résulte de ce que, dans un angle trièdre, un angle plan est plus petit que la somme des deux autres.

Proposition II. — La somme des trois côtés d'un triangle sphérique est moindre que la circonférence d'un grand cercle.

Car la somme des trois angles plans d'un tétraèdre est moindre que quatre droits.

Proposition III. — Si l'on mène un diamètre perpendiculaire au plan d'un cercle contenu sur la sphère; les extrémités de ce diamètre seront les pôles de ce cercle.

Car si on fait passer un plan par ce diamètre, ce plan coupera le cercle en deux points A, B, et la sphère suivant un cercle ayant pour diamètre le diamètre de la sphère; or, on voit que si l'on fait tourner ce cercle autour du diamètre que l'on considère, il décrira la surface de la sphère, tandis que les deux points A et B décriront le cercle de section considéré en premier lieu.

Proposition IV. — Tout plan perpendiculaire à l'extrémité d'un rayon est tangent à la sphère.

Car s'il n'était pas tangent il rencontrerait la sphère en un autre point. Donc l'oblique et la perpendiculaire menées d'un même point à un même plan seraient égales, ce qui est impossible.

Proposition V.—L'angle que font entre eux deux

arcs de grands cercles (on entend par grand cercle celui dont le plan passe par le centre de la sphère) est égal à l'angle formé par les deux tangentes de ces arcs au sommet de l'arc.

Car nous avons défini l'angle d'un triangle sphérique celui formé par les deux plans des deux côtés; or, l'angle de deux plans se mesure par l'angle formé par deux perpendiculaires élevées à la commune intersection, et ici les deux tangentes au sommet de l'arc sont dans ce cas.

Proposition VI. — Étant donné le triangle A B C; si, des points A, B, C, comme pôles, on décrit les arcs E F, F D, D E, qui forment le triangle D E F; réciproquement les trois points D, E, F, seront les pôles des côtés B C, A C, A B (fig. 6).

Car le point A étant le pôle de l'arc E F, la distance A E est un quadrant, le point C étant le pôle de l'arc D E, la distance C E est pareillement un quadrant, donc le point E est éloigné d'un quadrant de chacun des points A et C, donc il est le pôle de l'arc A C. On démontrera de même que E est le pôle de l'arc B C, et F celui de l'arc A B.

Donc le triangle A B C peut être décrit par le moyen de D E F, comme D E F par le moyen de A B C.

Proposition VII. — Les mêmes choses étant posées que dans la proposition précédente, chaque angle de l'un des triangles A B C, D E F, aura pour mesure la demi-circonférence moins le côté opposé dans l'autre triangle.

Soient prolongés, s'il est nécessaire, les côtés A B, A C, jusqu'à la rencontre de E F en G et H; puisque le point A est le pôle de l'arc G H, l'angle A aura pour mesure l'arc G H; mais l'arc E H est un quadrant ainsi que G F, puisque A E est le pôle de A H, et F le pôle de A G. Donc E H + G F vaut une demi-circonférence; or, E H + G F est la même chose que E F + G H, donc

l'arc GH, qui mesure l'angle A, est égal à une demi-circonférence moins le côté EF. De même l'angle B aura pour mesure

$\frac{1}{2}$ circ. — DF, et l'angle C, $\frac{1}{2}$ circ. — DE.

Cette propriété doit être réciproque entre les deux triangles, puisqu'ils se décrivent de la même manière, l'un par le moyen de l'autre. Ainsi on trouvera que les angles D, E, F, du triangle DEF ont pour mesure respectivement $\frac{1}{2}$ circ. — BC, $\frac{1}{2}$ circ. — AC, $\frac{1}{2}$ circ. — AB; en effet, l'angle D, par exemple, a pour mesure l'arc MI. Or, $MI + BC = MC + BI = \frac{1}{2}$ circ.; donc l'arc

MI, mesure de l'angle $D = \frac{1}{2}$ circ. — BC, et ainsi des autres angles.

Les deux triangles ABC, DEF, s'appellent triangles polaires.

TRIGONOMÉTRIE SPHÉRIQUE (1).

Relations entre les angles et les côtés d'un triangle sphérique.

Soit O (fig. 7) le centre de la sphère sur laquelle est situé le triangle ABC, je mène les rayons OA, OB, OC; j'élève sur OA les perpendiculaires AD et AE, l'une dans le plan OAB, l'autre dans le plan OAC, et je suppose qu'elles rencontrent en D et E les rayons OB et OC prolongés; l'angle DAE est égal à l'angle A du triangle sphérique, et en prenant le rayon OA pour unité, on aura $AD = \text{tang}\, c$, $OD = \sec c$

$$AE = \text{tang}\, b. \quad OE = \sec b$$

Les triangles DAE, DOE, donnent, d'après les formules de la trigonométrie rectiligne,

$$\overline{AD}^2 + \overline{AE}^2 - 2\, AD.\, AE \cos A = \overline{DE}^2$$
$$\overline{OD}^2 + \overline{OE}^2 - 2\, OD.\, OE \cos a = \overline{DE}^2$$

(1) Partie non exigée pour le baccalauréat ès sciences physiques.

Retranchant la seconde de la première, et appelant un le rayon de la sphère, il vient

$$1 - \sec b \sec c \cos a + \operatorname{tang} b \operatorname{tang} c \cos A = 0$$

mais $\sec b = \frac{1}{\cos b}$, $\operatorname{tang} b = \frac{\sin b}{\cos b}$, $\sec c = \frac{1}{\cos c}$,

donc on a $1 - \frac{\cos a}{\cos b \cos c} + \frac{\sin b \sin c \cos A}{\cos b \cos C} = 0$

$$(1) \quad \cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A$$

Telle est la formule fondamentale de la trigonométrie sphérique.

Il est visible que l'on pourrait avoir par une construction semblable les deux autres formules

$$(2) \quad \cos b = \cos a \cos c + \sin a \sin c \cos B$$
$$(3) \quad \cos c = \cos a \cos b + \sin a \sin b \cos C$$

qui donnent deux nouvelles relations entre les trois côtés du triangle et un angle.

Pour avoir une relation entre deux côtés et deux angles, il faut éliminer un côté entre deux quelconques de ces équations.

La première peut s'écrire sous la forme :

$$\cos A = \frac{\cos a - \cos b \cos c}{\sin b \sin c}$$

et par suite $\sin^2 A = 1 - \cos^2 A = 1 - \frac{(\cos a - \cos b \cos c)^2}{\sin^2 b \sin^2 c}$

$$= \frac{(1 - \cos^2 b)(1 - \cos^2 c) - (\cos a - \cos b \cos c)^2}{\sin^2 b \sin^2 c}$$

$$= \frac{1 - \cos^2 a - \cos^2 b - \cos^2 c + 2 \cos a \cos b \cos c}{\sin^2 b \sin^2 c}.$$

Divisons les deux nombres par $\sin^2 a$ et extrayons la racine de ces deux nombres, il vient

$$\frac{\sin A}{\sin a} = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 a - \cos^2 b - \cos^2 c + 2 \cos a \cos b \cos c}}{\sin a \sin b \sin c}$$

Nous trouverions la même valeur pour $\frac{\sin B}{\sin b}$ et $\frac{\sin C}{\sin c}$.

Nous avons donc les deux nouvelles équations :

(4) $\frac{\sin A}{\sin a}=\frac{\sin B}{\sin b} \quad \frac{\sin A}{\sin a}=\frac{\sin C}{\sin c}$.

Ce qui prouve que dans un triangle sphérique les sinus des angles sont entre eux comme les sinus des côtés opposés.

Il est aussi facile de trouver une relation entre deux côtés, l'angle qu'ils comprennent, et l'angle opposé à l'un d'eux; en effet, en éliminant $\cos c$ entre les équations (1) et (3) il vient

$$\cos a=\cos c \cos^2 b + \cos b \sin a \sin b \cos C + \sin b \sin c \cos A,$$

Remarquons que $\cos a - \cos a \cos^2 b = \cos a \sin^2 b$, et divisons tous par $\sin b \sin a$, il vient

$$\frac{\cos a \sin b}{\sin a} = \cos b \cos C + \frac{\sin c \cos A}{\sin a}$$

Mais $\frac{\sin c}{\sin a}=\frac{\sin C}{\sin A}$ d'où il résulte

(5) $\cot a \sin b = \cos b \cos C + \sin C \cot A$.

Par la même méthode on peut trouver les cinq équations suivantes :

(6) $\cot b \sin a = \cos a \cos C + \sin C \cot B$.

(7) $\cot a \sin c = \cos c \cos B + \sin B \cot A$

(8) $\cot c \sin a = \cos a \cos B + \sin B \cot C$

(9) $\cot b \sin c = \cos c \cos A + \sin A \cot B$

(10) $\cot c \sin b = \cos b \cos A + \sin A \cot C$

Enfin, on peut encore trouver une relation entre un côté et trois angles en éliminant b et c entre les trois équations (1), (2 (3). Pour y parvenir on porte dans l'équation (1) la valeur tirée de l équation (3), ce qui donne

$$\frac{\cos a \sin b}{\sin a} = \cos b \cos C + \frac{\sin c \cos A}{\sin a}$$

Et si l'on observe que $\frac{\sin b}{\sin a}=\frac{\sin B}{\sin A}$ et $\frac{\sin c}{\sin a}=\frac{\sin C}{\sin A}$

il vient en substituant :

$$\cos a \sin B = \cos b \sin A \cos C + \cos A \sin C.$$

On trouve par un moyen analogue l'équation semblable

$$\cos b \sin A = \cos a \sin B \cos C + \cos B \sin C.$$

Éliminant ensuite $\cos b$ entre ces deux dernières équations, il vient

$$\cos a \sin B = (\cos a \sin B \cos C + \cos B \sin C) \cos C + \cos A \sin C$$

$$\text{d'où } \cos A = \frac{\cos a \sin B - \cos a \sin B \cos^2 C - \cos B \sin C \cos C}{\sin C}$$

et par suite (11) $\cos A = + \cos a \sin B \sin C - \cos B \cos C$.

Nous trouvons également deux autres relations semblables, savoir :

(12) $\cos B = \sin A \sin C \cos b - \cos A \cos C$

(13) $\cos C = \sin A \sin B \cos c - \cos A \cos B.$

Ces formules sont suffisantes pour la résolution des triangles, cependant il est quelquefois commode d'avoir recours à d'autres.

Analogies de Neper.

Les équations (1) et (2) peuvent s'écrire :

$$\cos a - \cos b \cos c = \sin b \sin c \cos A$$
$$\cos b - \cos a \cos c = \sin a \sin c \cos B,$$

d'où l'on tire par la division, en remarquant que

$$\frac{\sin a}{\sin b} = \frac{\sin A}{\sin B}$$

$$\frac{\cos b - \cos a \cos c}{\cos a - \cos b \cos c} = \frac{\sin A \cos B}{\sin B \cos A}$$

ou bien

$$(P) \quad \frac{\cos b - \cos a}{\cos b + \cos a} \times \frac{1 + \cos c}{1 - \cos c} = \frac{\sin(A - B)}{\sin(A + B)}$$

$$\text{Mais } \frac{\cos b - \cos a}{\cos b + \cos a} = \tang \frac{1}{2}(a + b) \tang \frac{1}{2}(a - b)$$

$$\frac{1 + \cos c}{1 - \cos c} = \frac{1}{\tang^2 \frac{1}{2} c}$$

$$\sin (A + B) = 2 \sin \frac{1}{2} (A + B) \cos \frac{1}{2} (A + B)$$

$$\text{et } \sin (A - B) = 2 \sin \frac{1}{2} (A - B) \cos \frac{1}{2} (A - B)$$

Substituant ces valeurs dans l'équation (P) on trouve :

$$\text{(M)} \quad \tang \frac{1}{2} (a + b) \tang \frac{1}{2} (a - b) =$$

$$\tang^2 \frac{1}{2} c \left(\frac{\sin \frac{1}{2} (A - B) \cos \frac{1}{2} (A - B)}{\sin \frac{1}{2} (A + B) \cos \frac{1}{2} (A + B)} \right).$$

D'un autre côté, à cause de $\frac{\sin a}{\sin b} = \frac{\sin A}{\sin B}$, on a :

$$\text{(N)} \quad \frac{\sin a + \sin b}{\sin c - \sin b} = \frac{\sin A + \sin B}{\sin A - \sin B}.$$

Nous avons vu en trigonométrie rectiligne que

$$\frac{\sin a + \sin b}{\sin a - \sin b} = \frac{\tang \frac{1}{2} (a + b)}{\tang \frac{1}{2} (a - b)}.$$

L'équation (N) devient donc

$$\text{(Q)} \quad \frac{\tang \frac{1}{2} (a + b)}{\tang \frac{1}{2} (a - b)} = \frac{\sin \frac{1}{2} (A + B) \cos \frac{1}{2} (A - B)}{\cos \frac{1}{2} (A + B) \sin \frac{1}{2} (A - B)};$$

et par suite l'équation (M), étant multipliée membre à membre avec l'équation (Q), donne, après qu'on a extrait les racines,

$$\text{(14)} \quad \tang \frac{1}{2} (a + b) = \tang \frac{1}{2} c \, \frac{\cos \frac{1}{2} (A - B)}{\cos \frac{1}{2} (A + B)};$$

et en divisant l'équation (M) membre à membre par l'équation (Q), on trouve :

$$(15) \qquad \operatorname{tang}\frac{1}{2}(a-b) = \operatorname{tang}\frac{1}{2}c\,\frac{\sin\frac{1}{2}(A-B)}{\sin\frac{1}{2}(A+B)}.$$

En appliquant ces formules au triangle polaire, on remplace a, b, c, A, B, par $180-A$, $180-B$, $180-C$, $180-a$, $180-b$, ce qui donne

$$(16) \qquad \operatorname{tang}\frac{1}{2}(A+B) = \cot\frac{1}{2}C\,\frac{\cos\frac{1}{2}(a-b)}{\cos\frac{1}{2}(a+b)}$$

$$(17) \qquad \operatorname{tang}\frac{1}{2}(A-B) = \cot\frac{1}{2}C\,\frac{\sin\frac{1}{2}(a-b)}{\sin\frac{1}{2}(a+b)}.$$

Résolution des triangles sphériques rectangles.

Pour avoir les formules propres au triangle rectangle il suffit de poser $A = 90^\circ$. Les relations précédentes deviennent

(α) $\cos a = \cos b \cos c.$

(β) $\sin b = \sin a \sin B$ $\qquad$ $\sin c = \sin a \sin C$

(γ) $\operatorname{tang} b = \operatorname{tang} a \cos C$ $\qquad$ $\operatorname{tang} c = \operatorname{tang} a \cos B$

(δ) $\operatorname{tang} b = \sin c \operatorname{tang} B$ $\qquad$ $\operatorname{tang} c = \sin b \operatorname{tang} C$

(ε) $\cos B = \sin C \cos b$ $\qquad$ $\cos C = \sin B \cos c$

(θ) $\cos a = \cot B \cot C$

Nous ne considérons ici que les triangles qui ont un seul angle droit quoique en réalité il y en ait qui ont deux ou même trois angles droits ; car, dans ce dernier cas, les trois côtés sont des quadrants, dans l'autre il y en a deux, et le dernier angle a pour mesure le troisième côté.

1er *Cas.* — Connaissant a, b, trouver c, B, C.

Les relations (α), (β), (γ), nous donnent

$$\cos c = \frac{\cos a}{\cos c}, \quad \sin B = \frac{\sin b}{\sin a}, \quad \cos C = \frac{\tang b}{\tang a}.$$

2e *Cas.* — Connaissant b et c, trouver A, B, C.

Les relations (α), (δ), donnent

$$\cos a = \cos b \cos c, \quad \tang B = \frac{\tang b}{\sin c}, \quad \tang C = \frac{\tang c}{\sin b}.$$

3e *Cas.* — Connaissant a, B, trouver b, c, C.

Les relations (β), (γ), donnent

$$\sin b = \sin a \sin B, \quad \tang c = \tang a \cos B, \quad \cot C = \cos a \tang B.$$

4e *Cas.* — Connaissant b, B, trouver a, c, C.

Les relations (β), (δ), (ε), donnent

$$\sin a = \frac{\sin b}{\sin B}, \quad \sin c = \frac{\tang b}{\tang B}, \quad \sin C = \frac{\cos B}{\cos b}$$

Ce problème est susceptible généralement de deux solutions, l'une correspondante à une hypothénuse plus petite que 90°, l'autre plus grande.

5e *Cas.* — Étant donnés b, C, trouver a, c, B.

Les relations (γ), (δ), (ε), donnent

$$\tang a = \frac{\tang b}{\cos C}, \quad \tang c = \sin b \tang C, \quad \cos B = \cos b \sin C$$

6e *Cas.* — Étant donnés B et c, trouver a, b, c.

Les équations (ε), (θ), donnent :

$$\cos a = \cot B \cot C, \quad \cos b = \frac{\cos B}{\sin C}, \quad \cos c = \frac{\cos C}{\sin B}.$$

Résolution des triangles sphériques quelconques.

1er *Cas.* — Connaissant a, b, c, trouver A, B, C.

Les équations (1) (2) (3)

$$\cos A = \frac{\cos a - \cos b \cos c}{\sin b \sin c}$$

$$\cos B = \frac{\cos b - \cos a \cos c}{\sin a \sin c}$$

$$\cos C = \frac{\cos c - \cos a \cos b}{\sin c \sin b}$$

donnent immédiatement la solution.

2e *Cas.* — Connaissant a, b, A, trouver c, B, C.

La proportion $\frac{\sin a}{\sin b} = \frac{\sin A}{\sin B}$ donne d'abord l'angle B.

On peut déterminer c et C par les analogies de Neper qui donnent

$$\tang \frac{1}{2} c = \tang \frac{1}{2}(a - b) \frac{\sin \frac{1}{2}(A + B)}{\sin \frac{1}{2}(A - B)}$$

$$\cot \frac{1}{2} C = \tang \frac{1}{2}(A - B) \frac{\sin \frac{1}{2}(a + b)}{\sin \frac{1}{2}(a - b)}$$

3e *Cas.* — Connaissant a, b, C, trouver A, B, c.

Les formules (5) et (6)

$$\cot A = \frac{\cot a \sin b - \cos b \cos C}{\sin C}, \quad \cot B = \frac{\cot b \sin a - \cos a \cos C}{\sin C}$$

déterminent A et B.

La proportion

$$\frac{\sin C}{\sin A}=\frac{\sin c}{\sin a}$$

détermine le cos c.

4e *Cas.* — Connaissant A, B, c, trouver a, b, C.

Les formules (7) et (9)

$$\cot a=\frac{\cot A \sin B+\cos B \cos c}{\sin c},\cot b=\frac{\cot B \sin A+\cos A \cos c}{\sin c}$$

donnent a et b. Les analogies de Neper conduisent aussi à ces valeurs.

$$\operatorname{tang}\frac{1}{2}(a+b)=\operatorname{tang}\frac{1}{2}c\,\frac{\cos\frac{1}{2}(A-B)}{\cos\frac{1}{2}(A+B)}.$$

$$\operatorname{tang}\frac{1}{2}(a-b)=\operatorname{tang}\frac{1}{2}c\,\frac{\sin\frac{1}{2}(A-B)}{\sin\frac{1}{2}(A+B)}.$$

L'équation $\frac{\sin a}{\sin c}=\frac{\sin A}{\sin C}$ donne l'angle C.

5e *Cas.* — Connaissant A, B, a, trouver b, c, C.

L'équation $\frac{\sin A}{\sin B}=\frac{\sin a}{\sin b}$ donne b.

Les analogies de Neper donnent c et C.

Comme on l'a vu au deuxième cas

$$\operatorname{tang}\frac{1}{2}c=\operatorname{tang}\frac{1}{2}(a-b)\,\frac{\sin\frac{1}{2}(A+B)}{\sin\frac{1}{2}(A-B)}$$

$$\cot\frac{1}{2}C = \tang\frac{1}{2}(A - B)\frac{\sin\frac{1}{2}(a+b)}{\sin\frac{1}{2}(a-b)}.$$

6ᵉ *Cas.* — Connaissant A, B, C, trouver *a*, *b*, *c*.

Les équations (11), (12), (13)

$$\cos a = \frac{\cos A + \cos B\cos C}{\sin B\sin C}$$

$$\cos b = \frac{\cos B + \cos A\cos C}{\sin A\sin C}$$

$$\cos c = \frac{\cos C + \cos A\cos B}{\sin A\sin B}$$

résolvent le triangle.

QUATRIÈME PARTIE.

ALGÈBRE.

CHAPITRE PREMIER.

NOTIONS PRÉLIMINAIRES.

L'algèbre est la partie des mathématiques où l'on emploie des signes propres à abréger et à généraliser les raisonnements que comporte la résolution des questions relatives aux nombres. Les éléments principaux dont on fait usage en algèbre sont :

1° Les lettres de l'alphabet, qui servent à désigner les nombres sur lesquels on doit raisonner. Leur usage est utile soit pour abréger le raisonnement, soit pour le généraliser.

2° Le signe $+$ dont on se sert pour marquer l'addition de deux ou plusieurs nombres, et qui s'énonce *plus*. Ainsi $a + b$ s'énonce a plus b.

3° Le signe $-$, qui s'énonce *moins*, et dont on fait usage pour marquer la soustraction de deux nombres l'un de l'autre. Ainsi $a - b$ s'énonce a moins b.

4° Le signe de la multiplication, qui est $\times$ ou un point que l'on place entre les deux quantités ; ainsi $a \times b$ s'énonce a multiplié par b ; on peut aussi écrire $a . b$. $a \times b \times c$ est la même chose que $a . b$ c.

5° Le signe de la division qui consiste en deux points : que l'on place entre le dividende et le diviseur, ou bien encore en une barre — au-dessus et au-dessous de laquelle on place res-

pectivement le dividende et le diviseur : ainsi $a : b$, ou $\frac{a}{b}$ s'énonce a divisé par b, ou le quotient de a par b.

6° Le coefficient, signe que l'on emploie pour indiquer l'addition de plusieurs nombres égaux ; ainsi au lieu d'écrire $a + a + a + a$, qui représente l'addition de quatre nombres égaux à a, on écrit $4\ a$; 4 est le coefficient ; le coefficient est donc un nombre particulier écrit à la gauche d'un autre nombre exprimé par une ou plusieurs lettres, et qui marque combien de fois on doit prendre la lettre, ou le produit que représentent les lettres.

7° L'*exposant*, signe dont on se sert lorsqu'un nombre désigné par un autre doit entrer plusieurs fois comme facteur dans un produit. Ainsi au lieu d'écrire $a \times a \times a \times a \times a$, on écrit a^5 que l'on prononce a cinq, ou a cinquième puissance.

On appelle puissance le résultat de la multiplication de plusieurs nombres égaux, et degré de la puissance, la quotité des nombres égaux multipliés entre eux. L'exposant est le signe de ce degré ; il s'écrit à la droite et un peu au-dessus d'une lettre, et il marque combien de fois la quantité exprimée par cette lettre doit entrer comme facteur dans un produit. Pour faire sentir l'importance de l'exposant et du coefficient, supposons qu'on veuille exprimer un produit composé de cinq facteurs égaux à a, de trois facteurs égaux à b, et deux facteurs égaux à c, on écrira $a^5\ b^3\ c^2$ au lieu de $a\ a\ a\ a\ a\ b\ b\ b\ c\ c$. Veut-on ensuite exprimer que ce dernier résultat doit être multiplié par 8, on écrira $8\ a^5\ b^3\ c^2$.

8° Le signe $\sqrt{\ }$, dont on fait précéder un nombre, lorsqu'on veut indiquer que l'on a à extraire de ce nombre une racine d'un certain degré. Ainsi $\sqrt[4]{a}$ s'énonce racine quatrième de a, $\sqrt[3]{a}$ s'énonce racine cubique de a.

On appelle racine 2e, 3e, 4e, etc., d'un nombre, un second nombre qui, étant élevé à la 2e, 3e, 4e, etc., puissance, reproduit le premier nombre.

9° Le signe $=$ qui exprime que deux quantités sont égales. Ainsi pour exprimer que l'excès de a sur b est égal à c, on écrit $a - b = c$.

10° Le signe d'inégalité $>$, dont on se sert pour exprimer

qu'une quantité a est plus grande que b; ainsi $a > b$ veut dire que a est plus grand que b; $a < b$ signifie que a est plus petit que b.

C'est au moyen des signes dont on vient de parler qu'on parvient à enchaîner les idées dans les raisonnements qu'on est obligé de faire en algèbre.

On appelle quantité algébrique, ou expression algébrique, toute quantité écrite en langage algébrique. Ainsi $5\,a$ est l'expression algébrique du quintuple du nombre a; $4\,a^2$ est l'expression algébrique du quadruple du carré de a; $3\,a - 5\,b$ est l'expression algébrique de la différence entre le triple de a et le quintuple de b. Une expression algébrique peut avoir un ou plusieurs termes. On appelle *monôme*, ou quantité à un seul terme, une quantité algébrique qui n'est réunie à aucune autre par le signe de l'addition ou de la soustraction, et polynôme, une expression composée de plusieurs termes séparés les uns des autres par les signes $+$ et $-$. Ainsi $3\,a$, $5\,a^2$, $8\,a^4\,b^3\,c^2$ sont des monômes; $3\,a - 5\,b$, $2\,a^2 - 3\,a\,b + 4\,b^2$ sont des polynômes. La première de ces expressions est dite un *binôme*, et la seconde un *trinôme*, parce qu'elles contiennent l'une deux termes et l'autre trois.

La valeur numérique d'une expression algébrique est le nombre qu'on obtiendrait, si, en donnant des valeurs particulières aux lettres qui y entrent, on effectuait toutes les opérations arithmétiques que comporte cette expression.

Cette valeur numérique dépend évidemment des valeurs particulières attribuées aux lettres, et doit généralement varier avec elles; ainsi $2\,a^3$ a pour valeur numérique 54, lorsqu'on fait $a = 3$.

Je dis généralement; car, dans quelques cas, la valeur numérique d'une expression algébrique reste constante, quoiqu'on fasse varier les valeurs des lettres qui y entrent. Ainsi dans l'expression $a - b$, tant qu'on donnera à a et à b des valeurs croissantes chacune de la même quantité, l'expression ne change pas. Soit $a = 7$, $b = 4$; il en résulte $a - b = 3$. Soit maintenant $a = 12$, $b = 9$, il en résulte encore $a - b = 3$.

La valeur numérique d'un polynôme quelconque ne change pas lorsqu'on intervertit l'ordre de ses termes, pourvu que l'on ait soin de conserver à tous leurs signes respectifs. Ainsi $4\,a^3 - 3\,a^2\,b + 5\,a\,c^2$, et $5\,a\,c^2 - 3\,a^2\,b + 4\,a^3$ ont la même valeur numérique.

Ordinairement on ne met pas de signe devant le premier terme d'un polynôme; il est alors censé être précédé du signe $+$.

On appelle dimension d'un terme chacun des facteurs littéraux qui composent ce terme, et degré, le nombre de ces facteurs ou dimensions. Le coefficient ne compte pas pour une dimension; ainsi, $3a$ est dit un terme à une dimension, ou du premier degré ou linéaire, $5ab$ est un terme à deux dimensions ou du second degré, et $8a^3b^2c$ est un terme à six dimensions ou du sixième degré. En général, le degré, ou le nombre de dimensions d'un terme, s'estime par la somme des exposants des lettres qui entrent dans ce terme.

Une lettre qui n'a pas d'exposant est censé avoir 1 pour exposant. Un polynôme est homogène lorsque tous ses termes sont du même degré. $3a - 5b + 4c$, $8a^3b - 4a^2b^2 + 6a^4$ sont des polynômes homogènes.

On appelle termes semblables des termes qui sont composés des mêmes lettres affectées des mêmes exposants.

Ainsi $8ab$, $3ab$, $7ab$ sont des termes semblables, ainsi que $9a^2b^3c$, $15a^2b^3c$, $19a^2b^3c$. Quand un polynôme renferme plusieurs termes semblables, il est susceptible de réduction. Soit le polynôme $4a^2b - 3a^2c + 9ac^2 - 2a^2b + 7a^2c - 6b^3$, on peut l'écrire ainsi : $4a^2b - 2a^2b + 7a^2c - 3a^2c + 9ac^2 - 6b^3$; or $4a^2b - 2a^2b$ se réduit à $2a^2b$, $7a^2c - 3a^2c$ se réduit à $4a^2c$; donc le polynôme lui-même se réduit à $2a^2b + 4a^2c + 9ac^2 - 6b^3$.

Pour opérer la réduction des termes semblables, on forme un seul terme additif de tous les termes semblables précédés du signe $+$; ce qui se fait en ajoutant les coefficients de ces termes, et en donnant leur somme pour coefficient à la partie littérale commune; on forme par le même moyen un seul terme soustractif de tous les termes précédés du signe $-$; et on place la quantité négative immédiatement à la suite de la quantité positive.

CHAPITRE II.

Des quatre opérations fondamentales de l'algèbre.

§ 1er. DE L'ADDITION.

L'addition algébrique a pour but, étant donnés des polynômes ou des monômes, de trouver un polynôme unique nommé somme, présentant l'ensemble des additions et des soustractions partielles indiquées par les signes + et —, qui affectent les termes des quantités proposées.

On déduit de cette définition que pour additionner plusieurs quantités, monômes ou polynômes, il suffit de placer les termes de ces quantités les uns à la suite des autres avec leurs signes.

Par exemple, pour ajouter $b - c$ à a, il suffit d'écrire $a + b - c$; car la somme des quantités a et b étant $a + b$, si b diminue de c, la somme $a + b$ doit diminuer de c, la somme des quantités a, $b - c$, est donc $a + b - c$; on ferait voir de même que la somme des polynômes $3a - b$, $c - 2d$, $e + 2f - 4g$, est $3a - b + c - 2d + e + 2f - 4g$.

Lorsque les quantités qu'il s'agit d'additionner renferment des termes semblables, on facilite les réductions dont la somme est susceptible, en écrivant les termes semblables les uns sous les autres avec leurs signes, et en réduisant chaque groupe des termes semblables.

Par exemple, pour additionner les trois polynômes $5a - 7ab^2 - 8a^3 + 9$. $-4 + 9a^3 + 10ab^2$, $-7a - 18ab^2$, on exécute le calcul de la manière suivante:

$$\begin{array}{rrrrr} & 5a & -7ab^2 & -8a^3 & +9 \\ & & +10ab^2 & +9a^3 & -4 \\ & -7a & -18ab^2 & & \\ \hline \text{somme} & -2a & -15ab^2 & +a^3 & +5; \end{array}$$

dans l'expression réduite de la somme demandée, le coefficient de a est $5 - 7$ ou -2, le coefficient de ab^2 est $-7 + 10$

-18 ou -15, le coefficient de a^3 est $-8+9$ ou 1; et la partie entièrement numérique est $9-4$ ou $+5$.

Quand on a acquis un peu d'habitude, il n'est pas nécessaire d'écrire les termes les uns au-dessous des autres; on fait la réduction de suite.

§ II. DE LA SOUSTRACTION.

Soit à retrancher $4b$ de $5a$, le résultat algébrique est $5a-4b$; de même, la différence entre $7a^2b^3$, et $4abc$ est $7a^2b^3-4abc$; et celle de $8a^4b$ et $3a^4b$ est $8a^4b-3a^4b=5a^4b$. Soit maintenant $4b-5c$ à retrancher de $4a$; on peut d'abord présenter le résultat de cette manière : $4a-(4b-5c)$, en mettant la quantité à soustraire entre deux parenthèses, et l'écrivant à la suite de la première quantité avec le signe $-$; mais il faut souvent former un seul polynôme de cette expression.

Pour parvenir à ce but, on observe que si a, b, c, étaient des nombres, on ferait la soustraction indiquée par $4b-5c$, puis on retrancherait le résultat de $4a$; comme cette soustraction ne peut être effectuée dans l'état actuel des quantités, on commence par retrancher $4b$ de $4a$, ce qui donne $4a-4b$; mais, en retranchant $4b$ unités, on a soustrait un nombre trop fort de $5c$ unités; il faut donc rectifier le résultat en y ajoutant $5c$; ainsi l'on a $4a-4b+5c$ pour le résultat de la soustraction proposée. Soit encore $5a^2-4ab+3bc-b^2$ à soustraire de $8a^2-2ab$; cette opération peut être indiquée ainsi : $8a^2-2ab-(5a^2-4ab+3bc-b^2)$; mais pour réduire cette expression à un seul polynôme, observons que retrancher $5a^2-4ab+3bc-b^2$ revient à retrancher la différence entre la somme $5a^2+3bc$ des termes additifs, et la somme $4ab+b^2$ des termes soustractifs. On peut d'abord retrancher $5a^2+3bc$, ce qui donne $8a^2-2ab-5a^2-3bc$, et comme ce résultat est nécessairement trop faible de $4ab+b^2$, il faut y ajouter cette dernière quantité, et il vient $8a^2-2ab-5a^2-3bc+4ab+b^2$, et en réduisant $3a^2+2ab-3bc+b^2$; d'où l'on peut conclure cette règle générale : pour soustraire deux polynômes l'un de l'autre, écrivez à la suite du polynôme dont il faut soustraire, l'autre polynôme en changeant

les signes de celui-ci, et opérez la réduction du polynôme restant s'il y a lieu; on trouvera d'après cela que

$$\left.\begin{array}{r} 5\,a^3 - 4\,a^2\,b + 3\,b^2\,c \\ -(3\,a^2\,b - 3\,a^3 - 8\,b^2\,c) \end{array}\right\} = 8\,a^3 - 7\,a^2\,b + 11\,b^2\,c.$$

§ III. DE LA MULTIPLICATION.

On démontre en arithmétique que le produit de deux ou de plusieurs nombres reste le même dans quelque ordre qu'on les multiplie. Ainsi $3 \times 4 \times 5 = 4 \times 5 \times 3$. Il en est de même des quantités littérales; ainsi $a \times b \times c = a \times c \times b$.

Cela posé, la multiplication devient très simple. En effet, soit le monôme $4\,a^3\,b^2$ à multiplier par $5\,a^2\,b\,c$; l'expression de ce produit peut d'abord s'écrire ainsi : $4\,a^3\,b^2 \times 5\,a^2\,b\,c$; mais remarquons que $4\,a^3\,b^2 = 4\,a\,a\,a\,b\,b$ et $5\,a^2\,bc = 5\,a\,a\,b\,c$; on a donc $4\,a^3\,b^2 \times 5\,a^2\,b\,c = 4\,a\,a\,a\,b\,b \times 5\,a\,a\,b\,c$; or on peut, comme nous l'avons remarqué, intervertir l'ordre des facteurs; il vient donc $4 \times 5\,a\,a\,a\,a\,a\,b\,b\,b\,c$; or comme les coefficients sont des nombres particuliers, rien n'empêche d'en former un seul en les multipliant entre eux, ce qui donne 20 pour coefficient du produit. Quant aux lettres, le produit $a\,a\,a\,a\,a$ équivaut à a^5, et le produit $b\,b\,b$ à b^3; ainsi l'on a pour résultat final $20\,a^5\,b^3\,c$. Ainsi on peut établir la règle suivante : pour multiplier deux monômes l'un par l'autre, il faut 1° multiplier les deux coefficients entre eux; 2° écrire à la suite de ce produit toutes les lettres qui entrent à la fois dans le multiplicande et le multiplicateur, en affectant chaque lettre d'un exposant égal à la somme des deux exposants dont cette même lettre est affectée dans les deux facteurs; 3° si une lettre n'entre que dans l'un des facteurs, l'écrire au produit avec l'exposant dont elle est affectée dans ce facteur.

On trouvera d'après cette règle que $7\,a^3\,b^4\,c \times 9\,a^5\,b^2\,c^3\,d = 63\,a^8\,b^6\,c^4\,d$. $15\,a^2\,b^3\,c^2\,d \times 4\,a^3\,b\,c\,d^3\,g = 60\,a^5\,b^4\,c^3\,d^4\,g$.

Passons à la multiplication des polynômes. Soient d'abord deux polynômes $a + b + c$ et $d + f$, composés de termes tous additifs;

on peut présenter le produit sous la forme $(a + b + c)(d + f)$; mais il s'agit de développer ce produit. Or, il est évident que multiplier la somme $a + b + c$ par $d + f$ revient à prendre $a + b + c$ autant de fois qu'il y a d'unités dans d, plus autant de fois qu'il y a d'unites dans f, et ajouter les deux produits; mais multiplier $a + b + c$ par d c'est prendre d fois chacune des parties du multiplicande, et réunir les produits partiels, ce qui donne $ad + bd + cd$; de même multiplier $a + b + c$ par f, c'est prendre f fois chacune des parties du multiplicande, et réunir les produits partiels, ce qui donne $af + bf + cf$, qui doivent être ajoutés à $ad + bd + cd$; le produit sera donc $af + bf + cf + ad + bd + cd$. Ainsi pour multiplier deux polynômes composés de termes tous additifs, il faut multiplier séparément chacun des termes du multiplicande par chacun des termes du multiplicateur et ajouter tous les produits.

Si ces termes sont affectés de coefficients et d'exposants, on suit les règles prescrites pour la multiplication du monôme. Par exemple, $(3a^2 + 4ab + b^2)(2a + 5b)$ donnent pour produit $6a^3 + 8a^2b + 2ab^2 + 15a^2b + 20ab^2 + 5b^3$ en réduisant $6a^3 + 23a^2b + 22ab^2 + 5b^3$. Pour nous rendre compte du cas le plus général, remarquons que si le multiplicande renferme des termes additifs et des termes soustractifs, ce facteur exprime une différence entre le nombre d'unités marqué par la somme des termes additifs et le nombre d'unités marqué par la somme des termes soustractifs; même raisonnement par rapport au multiplicateur, d'où il suit que la multiplication de deux polynômes quelconques est ramenée à la multiplication de deux binômes tels que $a - b$, $c - d$, a désignant la somme des termes additifs et $-b$ la somme des termes soustractifs du multiplicande; il en est de même de c et de $-d$ par rapport au multiplicateur, on a donc à multiplier $a - b$ par $c - d$; or, multiplier $a - b$ par $c - d$ revient à prendre $a - b$ autant de fois qu'il a d'unités dans c, moins autant de fois qu'il y a d'unités dans d, ou bien à multiplier $a - b$ par c et à retrancher du produit celui de $a - b$ par d. Or, en multipliant $a - b$ par c, on obtient $ac - bc$. En effet, le produit de a par c étant ac, si le multiplicande diminue de b, le produit diminuera de c fois b, ou de bc; le produit de $a - c$ par c est donc $ac - bc$. De même le produit $a - b$ par d est $ad - bd$; et comme ce dernier produit doit être retranché du précédent $ac - bc$, il faut changer les signes de $ad - bd$, et l'écrire à la suite

$ac - bc$, ce qui donne $(a - b)(c - d) = ac - bc - ad + bd$.

Pour mettre plus d'ordre dans la formation du produit, et pour faciliter les réductions dont ce produit peut être susceptible, on ordonne les facteurs par rapport à une même lettre.

Soit proposé à multiplier,

$$\begin{array}{l}
a^3 - ba^2 + b^2a - b^3 \text{ par} \\
3a^2 - 3ba - 4b^2 \\
\hline
3a^5 - 3ba^4 + 3b^2a^3 - 3b^3a^2. \text{ 1}^{\text{er}} \text{ produit.} \\
\quad - 3ba^4 + 3b^2a^3 - 3b^3a^2 + 3b^4a. \text{ 2}^{\text{e}} \text{ produit.} \\
\qquad - 4b^2a^3 + 4b^3a^2 - 4b^4a + 4b^5. \text{ 3}^{\text{e}} \text{ prod.} \\
\hline
\text{Prod. tot. } 3a^5 - 6ba^4 + 2b^2a^3 - 2b^3a^2 - b^4a + 4b^5
\end{array}$$

La multiplication du multiplicande par le premier terme $3a^2$ du multiplicateur, a donné le premier produit partiel; en multipliant le multiplicande par le deuxième terme $- 3a$ du multiplicateur, on a obtenu le deuxième produit partiel, et on a formé le troisième produit partiel en multipliant tout le multiplicande par le terme $- 4b^2$ du multiplicateur; on a placé les termes semblables les uns sous les autres; la somme des produits partiels, réduite à sa plus simple expression, a donné le produit total.

La règle des signes peut s'énoncer ainsi : toutes les fois que les deux termes du multiplicande et du multiplicateur sont affectés du même signe, le produit correspondant est affecté du signe +, et lorsque les deux termes sont affectés de signes contraires, le produit est affecté du signe —. On dit encore, en langage algébrique, que + multiplié par +, ou — multiplié — donne +, et que + multiplié par — donne —.

La regle de la multiplication peut être énoncée de la manière suivante.

Pour multiplier deux polynômes l'un par l'autre, il faut multiplier successivement chaque terme du multiplicande par chaque terme du multiplicateur, en donnant le signe + au produit de deux termes de même signe, et le signe — au produit de deux termes affectés de signes contraires.

Remarques. 1° Si les polynômes qu'on veut multiplier sont homogenes, le produit de ces deux polynômes est aussi homogène; c'est une conséquence évidente des règles relatives aux lettres et aux exposants dans la multiplication des quantités monômes. En outre, le degré de chaque terme du produit doit être

égal à la somme des degrés de deux termes quelconques du multiplicande et du multiplicateur.

2° Lorsque dans la multiplication de deux polynômes, le produit n'offre aucune réduction de termes semblables, le nombre total des termes du produit est égal au produit du nombre des termes du multiplicande, multiplié par le nombre des termes du multiplicateur. Ainsi, que l'on ait 7 termes dans le multiplicande et 3 dans le multiplicateur, il y en aura 7×3 ou 21 dans le produit. Lorsqu'il y a des termes semblables, le nombre des termes du produit simplifié peut être moins grand; mais on remarquera que parmi les différents termes du produit, il en est qui ne peuvent se réduire avec aucune autre; ce sont 1° le terme provenant de la multiplication du terme du multiplicande affecté du plus haut exposant d'une quelconque des lettres, par le terme du multiplicateur affecté du plus haut exposant de la même lettre; 2° le terme provenant de la multiplication des deux termes affectés du plus faible exposant de la même lettre.

Il arrive souvent que l'on a besoin de connaître le carré d'un binôme de la forme $a + b$ Former le carré d'un binôme c'est le multiplier par lui-même, et il vient $(a + b)^2 = (a + b)(a + b) = a^2 + ab +^2 b^2$, c'est-à-dire que le carré de la somme de deux quantités se compose du carré de la première, plus du carré de la seconde, plus du double produit de la première par la seconde.

Pareillement $(a - b)^2 = (a - b)(a - b) = a^2 - 2ab + b^2$, expression qui ne diffère de la précédente que par le signe de $2ab$. Ces expressions se trouvent démontrées dans la géométrie.

Souvent il arrive qu'une même quantité est facteur dans tous les termes d'un polynôme, et alors il peut être utile de la mettre en évidence.

$$\text{Soit } a^3bc + ab^2c + a^2bg + a.$$

a multiplie tous les termes, on peut donc écrire $a(a^2bc + b^2c + abg + 1)$; en géométrie on fait très souvent usage de cette remarque. Par exemple, on trouve que le tronc du cône a pour mesure $\frac{1}{3}h.\pi R^2 + \frac{1}{3}h\pi r^2 + \frac{1}{3}hRr$, R et r désignant les rayons des bases, h la hauteur, et π le rapport

de la circonférence au diamètre ; en mettant $\frac{1}{3}\pi h$ en facteur, elle devient $\frac{1}{3}\pi h(R^2 + r^2 + Rr)$.

§ IV. DE LA DIVISION.

La division a pour but, étant donnés un produit et l'un de ses facteurs, de trouver l'autre facteur.

Considérons d'abord le cas de deux monômes. Soit à diviser $28\,a^7$ par $4\,a^3$, ce qui s'écrit $\frac{28\,a^7}{4\,a^3}$, il faut trouver un troisième monôme qui multiplie par $4\,a^3$, reproduise $28\,a^7$; il faut donc que le coefficient du monôme cherché soit tel que, multiplié par 4, il donne 28, et que l'exposant de a dans le quotient, ajouté à l'exposant 3 de a dans le diviseur, donne 7. Or, il n'y a que le nombre 7, qui, multiplié par 4, donne 28, et il n'y a que 4, qui, ajouté à 3, puisse donner 7. Le coefficient de a dans le quotient est donc 7 et son exposant est 4. On a donc $\frac{28\,a^7}{4\,a^3} = 7\,a^4$; et en effet, on a $7\,a^4 \times 4\,a^3 = 28\,a^7$. On a, d'après les mêmes remarques, $\frac{15\,a^4 b^3 c}{3\,ab^2} = 5\,a^3 bc$. D'où l'on voit que, pour diviser deux monômes l'un par l'autre, il faut : 1° diviser les deux coefficients l'un par l'autre ; 2° pour les lettres communes au dividende et au diviseur, écrire chacune d'elles à la suite du coefficient, en lui donnant un exposant égal à la différence de l'exposant du dividende et du diviseur ; 3° écrire à la suite et avec leurs exposants respectifs, les lettres qui entrent dans le dividende sans entrer dans le diviseur.

Il peut arriver que les exposants de certaines lettres soient les mêmes au dividende qu'au diviseur; si l'on avait, par exemple, $25\,a^4 b^2$ à diviser par $5\,a^3 b^2$; comme la lettre b a le même exposant, le quotient ne doit pas le renfermer, et l'on a $\frac{25\,a^4 b^2}{5\,a^3 b^2} = 5\,a$.

Mais le quotient $5\,a$ peut être mis sous une forme propre à

conserver la trace de la lettre b; en effet, d'après la règle établie, $\frac{b^2}{b^2} = b^0$. Ce nouveau symbole b^0 indique que la lettre b entre o fois comme facteur dans le quotient, mais il indique aussi qu'elle entrait dans le dividende et le diviseur, et qu'elle a disparu par l'effet de l'opération, il est d'ailleurs facile à faire voir que $b^0 = 1$, car $b^0 = \frac{b^2}{b^2}$ et toute quantité divisée par elle-même $= 1$. On a donc $b^0 = 1$; ainsi toute quantité affectée d'un exposant zéro égale un. Il y a des cas où il est impossible d'effectuer la division de deux monômes: 1° lorsque les coefficients ne sont pas divisibles l'un par l'autre; 2° lorsque certains exposants sont plus forts au diviseur qu'au dividende; et enfin quand le diviseur renferme une ou plusieurs lettres qui n'entrent pas dans le dividende: le monôme reste alors sous la forme fractionnaire, qu'on peut souvent simplifier.

Soit par exemple $12\,a^4\,b^3\,c\,d$ à diviser par $8\,a^2\,b^2\,c\,f$, le quotient se présente sous la forme $\frac{12\,a^4\,b^3\,c\,d}{8\,a^2\,b^2\,c\,f}$; on peut simplifier cette expression en remarquant que les facteurs 4, a^2, b^2 et c, étant communs aux deux termes de cette fraction, rien n'empêche de les supprimer; et l'on a pour résultat $\frac{3\,a^2\,b\,d}{2\,c\,f}$.

Pour simplifier un monôme fractionnaire quelconque, on supprime le plus grand facteur commun aux deux coefficients, on retranche le plus petit exposant d'une même lettre, du plus grand, et on écrit la lettre affectée de cette différence d'exposants, dans celui des deux termes de la fraction où l'exposant était le plus grand; on écrit enfin les lettres non communes, avec leurs exposants respectifs, dans celui des deux termes de la fraction où ces lettres entraient.

§ V. — DIVISION DES POLYNÔMES.

La division des polynômes a pour but de chercher un troisième polynôme qui, multiplié par le second, reproduise le premier; de sorte que, si A désigne le polynôme dividende, B le polynôme diviseur, et φ le quotient, on a : $B \times \varphi = A$. Il résulte de là, et de la règle de la multiplication des polynômes,

que le dividende de A est l'assemblage, par addition et après réduction, des produits partiels de chacun des termes du diviseur B, multipliés par chacun des termes du quotient φ cherché. Si l'on pouvait découvrir dans le dividende A un terme qui provînt, sans réduction, de la multiplication de l'un des termes du diviseur B par l'un des termes du quotient φ, alors, en divisant l'un par l'autre ces deux termes du dividende et du diviseur, on serait certain d'obtenir un terme du quotient.

Or, d'après la remarque 2 sur la multiplication, le terme affecté du plus haut exposant d'une certaine lettre dans le produit, ne se réduit jamais avec les autres; de sorte que, si on divise ce terme par celui du diviseur qui a le plus fort exposant de la même lettre, on sera certain d'avoir un terme du quotient. Pour plus de clarté, soit $15\,a^4$ le terme de A, dans lequel la lettre a a le plus fort exposant, et soit $-5\,a^2$ celui du diviseur B, dans lequel l'exposant de a est le plus fort; le terme $15\,a^4$ provient sans réduction de la multiplication des deux termes du diviseur et du quotient du plus fort exposant de la même lettre a; donc, en divisant $15\,a^4$ par $-5\,a^2$, on aura un terme du quotient cherché; mais il faut déterminer le signe dont le terme du quotient doit être affecté.

Or, ce signe ne saurait être que $-$; car il faut que, multiplié par $-$, il donne $+$; et il n'y a que $-$ qui, multiplié par $-$, donne $+$.

$-3\,a^2$ est donc un terme du quotient cherché. Après l'avoir mis au dessous du diviseur B, on multiplie chacun des termes du diviseur par $-3\,a^2$, puis, on soustrait le produit du dividende A, ce qui se fait en écrivant ce produit avec des signes contraires au-dessous du dividende, et en opérant la réduction; on obtient ainsi un 1[er] reste R, que l'on considère comme un nouveau dividende sur lequel on opère comme sur le polynôme A proposé, et on continue ainsi de suite L'opération devient plus facile si on ordonne les polynômes A et B par rapport à une même lettre.

Un exemple va rendre ce procédé très clair; mais il faut, avant tout, établir généralement la règle des signes de la division. Comme, dans la multiplication, le produit de deux termes de même signe est affecté du signe $+$, et que le produit de deux termes affectés de signe contraire est $-$, on peut dire : 1° que si le terme du dividende a le signe $+$, et celui du diviseur le signe $+$, le terme du quotient doit avoir le signe $+$; 2° que si le terme du dividende a le signe $+$, et le terme du diviseur le signe $-$,

ou le terme du dividende le signe — et le terme du diviseur le signe +, le terme du quotient doit avoir le signe —; enfin, si le dividende a le signe — et le diviseur le signe —, le quotient doit avoir le signe +; ce qui revient à dire que, si les deux termes du dividende et du diviseur sont de même signe, le quotient doit être affecté du signe +; et s'ils sont de signes contraires, le quotient doit être affecté du signe —.

Soient maintenant les deux polynômes

$$\begin{array}{l|l} \quad A & \quad B \\ a^5 - 5ba^4 + 5b^2a^3 + 3b^3a^2 & a^3 - 3ba^2 \\ \hline -a^5 + 3ba^4 & a^2 - 2ba - b^2 \\ \hline R \; - 2ba^4 + 5b^2a^3 + 5b^3a^2 & \\ \quad\;\; 2ba^4 - 6b^2a^3 & \\ \hline R' \; - b^2a^3 + 3b^3a^2 & \\ \quad\;\; b^2a^3 - 3b^3a^2 & \\ \hline \quad\quad o & \end{array}$$

Les deux polynômes sont ordonnés par rapport à la lettre a; c'est-à-dire que l'exposant de la lettre a été en décroissant dans le dividende et le diviseur. On a d'abord divisé a^5 par a^3, ce qui a fourni le terme a^2 du quotient; on a ensuite fait le produit de $(a^3 - 3ba^2)$ par a^2, et on l'a retranché du polynôme dividende, ce qui a fourni le reste R. On a considéré ce reste comme un nouveau dividende ordonné par rapport à la même lettre a. On a divisé son premier terme $-2ba^4$ par a^3, ce qui a fourni le terme $-2ba$ du quotient; on a fait le produit du diviseur par ce nouveau terme du quotient, et on l'a retranché de R, ce qui a fourni le reste R', que l'on considère aussi comme un nouveau dividende ordonné par rapport à a: en divisant son premier terme $-b^2a^3$ par a^3, on obtient le terme $-b^2$ du quotient; en faisant le produit du diviseur par $-b^2$, et en retranchant ce produit de R', on obtient o, ce qui prouve que $a^2 - 2ba - b^2$ est le quotient exact de la division des deux polynômes proposés. Si on fait le produit du quotient par le diviseur, on retombe sur le polynôme dividende; on peut poser ainsi la règle de la division : ordonnez le dividende et le diviseur par rapport à une même lettre, divisez le premier terme du dividende par le premier terme du diviseur, le résultat sera le premier terme du quotient. Retranchez du dividende le

produit du diviseur par le premier terme du quotient, vous obtiendrez un premier reste; divisez le premier terme de ce premier reste par le premier terme du diviseur, le résultat sera le deuxième terme du quotient, et ainsi de suite.

Remarques. — 1° Nous avons dit qu'il faut ordonner le dividende et le diviseur par rapport à une même lettre; mais il peut arriver que l'un des polynômes proposés ou les deux renferment plusieurs termes affectés d'une même puissance de la lettre par rapport à laquelle on veut ordonner; cela complique un peu la division, mais la règle établie est toujours la même.

Soit $Ma^4 + Na^3 + Pa^2 + Ra + V$ le dividende,
et $M'a^2 + N'a + P'$ le diviseur.

Chacun des coefficients M, N, P, Q, M', N', P', désigne l'assemblage de plusieurs termes. Ainsi Ma^4 représente toute la partie du dividende affectée de a^4, et ainsi des autres. Cela posé, puisque le plus haut exposant de a est 4 dans le dividende, et 2 dans le diviseur, il doit aussi être égal à 2 dans le quotient qui est alors de la forme $Aa^2 + Ba + C$. Pour déterminer la partie de ce quotient affectée de la plus haute puissance, on remarque que le produit des deux parties Aa^2 et $M'a^2$ ne peut éprouver aucune réduction avec les autres produits du diviseur par le quotient, et, par conséquent, doit être égal à la partie Ma^4 du dividende, affectée de la plus haute puissance.

Donc réciproquement si l'on divise Ma^4 par $M'a^2$, on doit avoir la partie Aa^2 du quotient; cela revient à diviser A par A', puisque a^4 divisé par a^2 donne a^2; la partie Aa^2 étant obtenue, on multiplie chacune des parties du diviseur par Aa^2 et l'on retranche au fur et à mesure les produits partiels qu'on obtient; ce qui donne un premier reste sur lequel on opère comme sur le polynôme proposé.

2° Pour diviser un polynôme par une quantité indépendante de la lettre par rapport à laquelle ce polynôme est ordonné, il suffit d'effectuer la division sur chacun des coefficients de cette lettre.

Soit à diviser $(b^2 - c^2)a^3 + (b^4 - c^4)a^2 + 3(b + c)a$ par $b + c$. On divise chacun des coefficients $b^2 - c^2$, $b^4 - c^4$, par $b + c$; les quotients étant $b - c$, $b^3 - cb^2 + c^2b - c^3$, $3a$; le quotient total est:

$$(b - c)a^3 + (b^3 - cb^2 + c^2b - c^3)a^2 + 3a.$$

§ VI. FRACTIONS ALGÉBRIQUES.

On exécute sur les fractions algébriques les mêmes opérations que sur les fractions arithmétiques. Ainsi, une fraction quelconque ne change pas de valeur, quand on multiplie ou quand on divise ses deux termes par une même quantité.

Soit la fraction $\frac{a}{b}$; nous pouvons en représenter le quotient par q, et on a : $\frac{a}{b} = q$; mais le dividende a est égal au produit du diviseur par le quotient; de sorte qu'on a : $a = b\,q$; on en déduit $a \times m = b\,q \times m = b \times m \times q$,

d'où l'on tire $q = \frac{a \times m}{b \times m}$; mais q est déjà égal à $\frac{a}{b}$, donc $\frac{a}{b} = \frac{a \times m}{b \times m}$, ce qui démontre le principe énoncé.

On se sert de ce principe pour réduire plusieurs fractions au même dénominateur; pour cela il suffit de multiplier les deux termes de chacune d'elles par le produit du dénominateur de toutes les autres. Par exemple, les fractions $\frac{a}{b}, \frac{c}{d}, \frac{e}{f}, \frac{p}{q}$, réduites au même dénominateur, deviennent :

$$\frac{a\,d\,f\,q}{b\,d\,f\,q}, \frac{c\,b\,f\,q}{b\,d\,f\,q}, \frac{e\,b\,d\,q}{b\,d\,f\,q}, \frac{p\,b\,d\,f}{b\,d\,f\,q}.$$

Quand il se trouve un dénominateur multiple de tous les autres, l'opération de la réduction au même dénominateur peut être simplifiée; soient, par exemple, les fractions

$$\frac{5\,x}{12}, \frac{4}{3}, \frac{7\,x}{9}.$$

Pour les réduire au même dénominateur, on remarquera que 36 est un multiple de 12, 3 et 9. On divisera donc 36 par chacun des dénominateurs, et on multipliera les numérateurs par les différents quotients obtenus. Alors les fractions réduites seront

$$\frac{15\,x}{36}, \frac{48}{36}, \frac{28\,x}{36}.$$

Pour ajouter des fractions, il faut les réduire au même dénominateur si elles ne le sont pas déjà ; et alors il ne reste plus qu'à ajouter les nouveaux numérateurs et à donner à la somme le dénominateur commun.

C'est ainsi que $\frac{ab}{4} + \frac{3}{c} + \frac{5d}{7}$ revient à

$$\frac{7abc + 84 + 20cd}{28c}$$

et que $\frac{a}{b} + \frac{c}{d} + \frac{\varepsilon}{f} = \frac{adf + cbf + \varepsilon bd}{bdf}$.

La soustraction de deux fractions du même dénominateur s'effectue en prenant la différence entre les numérateurs et en l'affectant du dénominateur commun. Ainsi $\frac{a}{b} - \frac{c}{b} = \frac{a-c}{b}$.

Quand les fractions ne sont pas de même dénominateur, il faut les y réduire.

Dans la multiplication de plusieurs fractions le produit est exprimé par une fraction, dont le numérateur est le produit des numérateurs des fractions proposées, et dont le dénominateur est le produit des dénominateurs des mêmes fractions.

Soit $\frac{a}{b} \times \frac{c}{d} \times \frac{\varepsilon}{f}$. En posant $\frac{a}{b} = m$, $\frac{c}{d} = n$, $\frac{\varepsilon}{f} = p$, on aura $a = bm$, $c = dn$, $\varepsilon = pf$, d'où $a \times c \times \varepsilon = bmdn \times pf = mnh \times bdf$; d'où $mnp = \frac{a \times c \times \varepsilon}{bdf}$. Ce qui démontre le principe énoncé.

La division d'une fraction par une fraction s'effectue en multipliant la fraction dividende par la fraction diviseur renversée.

En effet, soit à diviser $\frac{a}{b}$ par $\frac{c}{d}$; on réduit d'abord ces fractions au même dénominateur, et la question est ramenée à diviser $\frac{ad}{bd}$ par $\frac{bc}{bd}$, ce qui revient à diviser ad par bc; car le quotient ne change pas quand on multiplie le dividende et le diviseur par bd; donc le quotient demandé est $\frac{ad}{bc}$ ou $\frac{a}{b} \times \frac{d}{c}$. Ce qui démontre le principe énoncé.

Quand on veut diviser une fraction par un nombre entier, il suffit de multiplier le dénominateur de la fraction par le nombre entier. Ainsi $\frac{a}{b} : c = \frac{a}{bc}$. Pour réduire un nombre entier en une fraction qui ait un dénominateur donné, il suffit de multiplier l'entier par le dénominateur donné. Ainsi $a = \frac{a \times b}{b}$; cela sert à convertir en une seule expression fractionnaire un ou plusieurs monômes joints à une fraction.

Ainsi $a \times \frac{b}{c} = \frac{ac + b}{c}$, $\frac{a}{b} + c + d = \frac{a + cb + bd}{b}$,

de même $a^2 - a + 1 + \frac{2}{a+1} = \frac{2 + (a+1)(a^2 - a + 1)}{a+1}$

$= \frac{a^3 + 3}{a+1}$.

Nous terminerons le chapitre des fractions en remarquant que, selon que les deux termes d'une fraction sont de mêmes signes ou de signes contraires, cette fraction est positive ou négative ; par conséquent, une fraction conserve sa valeur et son signe quand on change les signes de ses deux termes, et elle change de signe, sans changer de valeur absolue quand on ne change que le signe du numérateur ou que celui du dénominateur.

CHAPITRE III.

Des équations du premier degré.

Les égalités qui n'ont lieu que pour certaines valeurs particulières des lettres qu'elles renferment sont des équations ; les égalités qui subsistent, quelles que soient les valeurs des lettres qu'elles renferment, sont des identités. Ainsi l'égalité $5 + a = 9$ est une équation ; car elle n'est vraie que lorsqu'on fait $a = 4$, et l'égalité $4a + 1 = 4a + 1$ est une identité ; car elle est vraie quel que soit a. Les deux quantités séparées par le signe $=$ sont

les deux membres de l'équation ; la quantité placée à gauche est le premier membre, et celle placée à droite est le deuxième membre. Les termes séparés par les signes + et — sont les termes de l'équation.

On dit qu'une équation est numérique lorsque les inconnues n'y sont combinées qu'avec des nombres donnés. L'équation est littérale lorsque des quantités connues y sont représentées par des lettres. Ainsi, l'équation $4x - 5y = 3$ est numérique, et l'équation $ax + b = c$ est littérale. Lorsque des quantités numériques ou littérales, mises à la place des inconnues, rendent une équation identique, ces quantités forment ce qu'on appelle un système de valeurs des inconnues, ou une solution de l'équation. Ainsi, l'équation $4x = 12$ devenant identique si, à la place de x on met 3, on dit que $x = 3$ satisfait à l'équation. Une équation est du premier degré lorsque l'inconnue ne se trouve qu'au premier degré.

Des équations du premier degré à une seule inconnue.

Les transformations qu'il faut faire subir aux équations sont fondées sur les propriétés suivantes :

1° Lorsqu'à deux quantités égales on ajoute une même quantité, les sommes sont égales.

2° Quand de deux quantités égales on retranche une même quantité, les restes sont égaux.

3° En multipliant deux quantités égales par une même quantité, les produits sont égaux.

4° Lorsqu'on divise deux quantités égales par une même quantité, les quotients sont égaux.

Ces principes, appliqués aux deux membres d'une équation, fournissent le moyen d'en déduire d'autres équations qui toutes sont satisfaites par la même valeur de l'inconnue, et qui conduisent à la valeur de cette inconnue.

Soit l'équation $x + a = b$. Si des deux quantités égales $x + a$, b, on ôte a, les restes x, $b - a$ seront égaux ; donc $x = b - a$. Soit l'équation $x - a = b$. Si on ajoute a aux deux quantités $x - a b$, les résultats seront égaux ; on a donc $x = a + b$. Il résulte de là que pour faire passer un terme d'un membre d'une équation dans l'autre, il suffit d'effacer ce terme dans le mem-

bre où il se trouve, et de l'écrire dans l'autre membre avec un signe contraire; c'est-à-dire avec le signe — s'il avait le signe +, et avec le signe + s'il avait le signe —.

Dans les deux cas que nous venons d'examiner, l'inconnue ne se trouvait combinée aux données que par addition et soustraction; mais elle se trouve souvent engagée par voie de multiplication et de division.

Soit, par exemple, l'équation $a x = b$. On divise ses deux membres par a, ce qui donne $x = \frac{b}{a}$. Par conséquent, lorsque le premier membre d'une équation ne contenant que l'inconnue affectée d'un certain coefficient, le second membre ne renferme que des quantités connues, la valeur de l'inconnue s'obtient en divisant le second membre par le coefficient de l'inconnue.

Ainsi de l'équation $3x = a + b$, on tire $x = \frac{a+b}{3}$.

Soit l'équation $\frac{x}{a} = b$; la multiplication de ces deux membres par a donne $x = a \times b$. Par conséquent, lorsque le premier membre d'une équation ne contenant que l'inconnue divisée par une quantité connue, le second membre est une quantité toute connue, la valeur de l'inconnue s'obtient en multipliant le second membre par la quantité qui servait de diviseur à cette inconnue. Ainsi de l'équation $\frac{x}{3} = 5$, on tire $x = 3 \times 5 = 15$.

Supposons maintenant qu'on ait à résoudre l'équation $\frac{a x}{b} - c = \frac{d x}{e} - \frac{p}{q}$.

On fait d'abord disparaître le dénominateur d'après le procédé connu, et elle devient

$$\frac{a e q x - c b e q}{b e q} = \frac{d b q x - b p e}{b e q}$$

Multipliant ensuite les deux membres par $b e q$, il vient $a e q x - c b e q = d b q x - b p e$.

Maintenant faisant passer dans un même membre les termes

affectés de l'inconnue x, et les autres dans l'autre membre, en faisant les changements de signes indiqués plus haut, l'équation proposée deviendra $a\,e\,q\,x - d\,b\,q\,x = c\,b\,e\,q - b\,p\,e$; mettant x en facteur, $x(a\,e\,q - d\,b\,q) = c\,b\,e\,q - b\,p\,e$.

Cette dernière équation est facile à résoudre, car elle est ramenée à la forme $a\,x = b$; on en tire $x = \dfrac{c\,b\,e\,q - b\,p\,e}{a\,e\,q - d\,b\,q}$.

Soit encore l'équation $\dfrac{4\,x}{3} - \dfrac{5}{9}\,x + 4 = \dfrac{x}{5}$; en réduisant d'abord au même dénominateur elle devient

$$\frac{4 \times 9 \times 5 \times x - 3 \times 5 \times 5x + 4 \times 3 \times 9 \times 5}{3 \times 9 \times 5} = \frac{3 \times 9 \times x}{3 \times 9 \times 5}.$$

Effectuant les opérations indiquées, et multipliant les deux membres par $3 \times 9 \times 5$, elle devient

$$180\,x - 75\,x + 540 = 27\,x.$$

Passant le terme $27\,x$ dans le premier membre et la quantité numérique 540 dans l'autre, il vient

$$180\,x - 75\,x - 27\,x = -540,$$
$$\text{d'où } x(180 - 75 - 27) = -540.$$

Or, ces quantités entre parenthèses se réduisent à 78; on a donc $78\,x = -540$, d'où $x = -\dfrac{540}{78}$.

Quelquefois on peut faire disparaître les dénominateurs d'une manière plus simple, comme nous l'avons remarqué en parlant des fractions, et il faut toujours y avoir recours quand cela est possible.

Que l'on ait par exemple à résoudre l'équation

$$\frac{2\,x}{3} - \frac{3}{4} = 11 + \frac{x}{5}.$$

On remarquera que 60 est le plus petit multiple des dénominateurs 3, 4, 5, on pourra donc prendre 60 pour dénominateur commun, et l'équation deviendra, en divisant ce dénominateur

commun par chacun des dénominateurs, et en le multipliant par 11

$$\frac{40\,x}{60}-\frac{45}{60}=\frac{11\times 60}{60}+\frac{12\,x}{60}.$$

Multipliant tous les termes par 60 et passant les termes qui contiennent x d'un côté et les quantités qui ne le contiennent pas de l'autre, il vient

$$40\,x-12\,x=660+45$$

$$\text{d'où } 28\,x=705$$

$$x=\frac{705}{28}.$$

En opérant de même, on trouve que la valeur de x tirée de l'équation $\frac{5\,x}{6}-\frac{2}{15}=\frac{7\,x}{9}+\frac{8}{15}$ est égale à 12, et que celle de x tirée de l'équation $\frac{5\,x}{12}-\frac{4\,x}{3}-13=\frac{7}{8}-\frac{13\,x}{6}$ est égale à $\frac{111}{10}$.

En général, pour résoudre une équation du premier degré à une seule inconnue, faites passer tous les termes qui renferment l'inconnue dans le premier membre, et les termes tous connus dans le second ; réduisez chaque membre à sa plus simple expression, et chassez les dénominateurs; vous aurez ainsi une équation dont le premier membre ne renfermera que l inconnue affectée d'un certain coefficient, et dont le second membre sera une quantité toute connue; la valeur de l'inconnue s'obtiendra en divisant le second membre de la nouvelle équation par le coefficient de l'inconnue.

Toute équation algébrique peut être considérée comme l'expression des conditions d'un problème.

Pour trouver l'énoncé le plus simple de ce problème, il suffit de traduire l'équation proposée en langage ordinaire.

Ainsi l'équation $4\,x-5=7$, est la traduction algébrique de ce problème.

Trouver un nombre dont le quadruple diminué de 5 soit égal à 7.

CHAPITRE IV.

Des équations du premier degré à plusieurs inconnues.

Une équation à deux inconnues admet une infinité de valeurs, car pour chaque valeur donnée arbitrairement à l'une des inconnues, l'équation détermine la valeur correspondante de l'autre inconnue.

Ainsi, dans l'équation $x = y + 4$, chaque valeur arbitraire donnée à y, augmentée de 4, fournit la valeur correspondante de x. La valeur de x dépendant de celle de y, on dit que x est fonction de y. Pour résoudre deux équations à deux inconnues, on cherche d'abord à combiner ces équations de manière à en déduire une équation qui ne renferme que l'une des inconnues, ce qui revient à éliminer l'autre inconnue.

Il y a plusieurs procédés d'élimination. Soient les deux équations

$$2x + 3y = 13 \quad (1)$$
$$5x + 4y = 22 \quad (2).$$

Pour éliminer x, il faut rendre les coefficients de x égaux dans les deux équations; on y parvient en multipliant (1) par 5 et (2) par 2 : en opérant ainsi on aura les

$$\text{Équations} \begin{cases} 10x + 15y = 65 & (3) \\ 10x + 8y = 44 & (4) \end{cases}$$

qui peuvent remplacer les équations proposées; maintenant si on les retranche l'une de l'autre, les termes en x disparaîtront, et il deviendra l'équation unique $15y - 8y = 65 - 44$ qui donne $y = 3$. D'après le même procédé, pour trouver x on rendra les coefficients de y égaux dans les équations (1) et (2). On multipliera (1) par 4 et (2) par 3.

Il vient $8x + 12y = 52 \quad (5)$
$15x + 12y = 66 \quad (6).$

Ces deux dernières équations remplacent (1) et (2) : en les retranchant l'une de l'autre, les termes en y disparaissent et on obtient

$$7x = 14, \text{ d'où } x = 2.$$

Ainsi, $x = 2$, et $y = 3$, sont les valeurs qui satisfont à la fois aux deux équations proposées.

Pour faire disparaître x et y des équations (3, 4, 5 et 6), nous avons retranché les équations l'une de l'autre ; mais si les coefficients de x ou de y dans ces équations étaient de signes contraires, au lieu de les retrancher pour faire disparaître x ou y, il faudrait les ajouter. Si on avait par exemple les deux

$$\text{Équations} \left\{ \begin{array}{l} 3x + 4y = 7 \\ 5x - 4y = 9 \end{array} \right.$$

pour que y disparaisse, il faudrait ajouter les équations et alors $+ 4y$ et $- 4y$ se détruiraient.

La méthode d'élimination que nous venons d'employer porte le nom de méthode par addition et soustraction; il en est une autre qui s'emploie souvent avec avantage, c'est la méthode de substitution ; pour opérer d'après cette méthode, on tire l'une des inconnues de l'une des équations, on substitue sa valeur dans l'autre équation, et on obtient ainsi une équation à une seule inconnue; il n'y a plus alors qu'à tirer de cette équation la valeur de l'inconnue qui s'y trouve, et la substituer dans les équations proposées qui fourniront la valeur de l'autre inconnue.

Reprenons le même exemple que ci-dessus :

$$2x + 3y = 13$$
$$5x + 4y = 22.$$

On tire la valeur de x de la première équation, comme si y était une quantité toute connue; on a de cette manière

$x = \dfrac{(13 - 3y)}{2}$; on substitue cette valeur de x dans la seconde,

et il vient $5 \dfrac{(13 - 3y)}{2} + 4y = 22$, équation qui ne contient plus x ; on en tire la valeur de $y = 3$, et on substitue cette valeur de $y = 3$ dans l'une des deux équations proposées, dans la première par exemple, et il vient $2x + 9 = 13$ qui résolue donne $x = 2$.

Ces deux méthodes suffisent pour résoudre deux équations à deux inconnues. On pourra s'exercer sur les équations suivantes :

$$1^{o}.\ 5x + 7y = 43 \qquad 2^{o}.\ 8x - 21y = 33$$
$$11x + 9y = 69 \qquad 6x + 35y = 177$$

$$3^{o}.\ \frac{2x}{3} - 4 + \frac{y}{2} + x = 8 - \frac{3y}{4} + \frac{1}{12}$$
$$\frac{y}{6} - \frac{x}{2} + 2 = \frac{1}{6} - 2x + 6.$$

Le premier système fournit les valeurs $\dfrac{x = 3}{y = 4}$; le deuxième donne $\dfrac{y = 3}{x = 12}$; et le troisième $\dfrac{y = 7}{x = 2}$.

Pour résoudre trois équations du premier degré entre trois inconnues, on élimine d'abord l'une des inconnues par l'une quelconque des méthodes précédentes, ce qui conduit à deux équations ne renfermant plus que deux inconnues ; ces deux équations traitées fournissent les valeurs de deux des inconnues, et la substitution de ces valeurs dans l'une quelconque des équations qui renferment les trois inconnues, fournit une équation qui détermine la troisième inconnue.

Soient les équations

$$5x - 6y + 4z = 15$$
$$7x + 4y - 3z = 19$$
$$2x + y + 6z = 46$$

Pour éliminer z entre les deux premières équations, il fau multiplier la première par 3, et la seconde par 4, puis ajouter les deux résultats (puisque les coefficients de z sont de signes contraires), ce qui donne pour nouvelle équation $43x - 2y = 121$; pour rendre les coefficients de z égaux dans la deuxième et la troisième il suffit de multiplier dans la deuxième z par l'un des facteurs du coefficient 2 dans la troisième, et ajoutant on a : $16x + 9y = 84$; la question est donc ramenée à trouver les valeurs de x et y propres à satisfaire à ces nouvelles équations. Elles donnent $x = 3$, $y = 4$. Il ne reste plus qu'à substituer ces valeurs de x et de y dans l'une quelconque des équations

proposées, pour avoir la valeur de z; en les mettant dans la première, il vient $15 - 24 + 4z = 15$; d'où $z = 6$. Ainsi :

$$x = 3$$
$$y = 6$$
$$z = 6$$

satisfont aux trois équations proposées.

Pour résoudre quatre équations entre quatre inconnues, on ramène ce cas au précédent, en éliminant l'une des inconnues; cela fournit trois équations entre trois inconnues qui donnent les valeurs des trois inconnues, et en substituant ces valeurs dans l'une quelconque des équations qui renferment l'autre inconnue, on en déduit la valeur de cette autre inconnue; on ferait de même pour cinq équations entre cinq inconnues, etc.

On peut faire plusieurs remarques sur les formes que peuvent prendre les valeurs des inconnues dans la résolution des équations du premier degré.

En faisant disparaître les dénominateurs et rassemblant ce qui multiplie l'inconnue, l'équation du premier degré, à une seule inconnue, peut se mettre sous la forme $a x = b$, a et b représentant des quantités entières positives ou négatives; en résolvant cette équation, il vient : $x = \frac{b}{a}$.

Lorsque le numérateur b désignant un nombre positif donné, le dénominateur a diminue, et s'approche indéfiniment de o, la valeur de $\frac{b}{a}$ reste positive, et augmente indéfiniment; et enfin quand a se réduit à zéro, la valeur $\frac{b}{o}$ de $\frac{b}{a}$ devient plus grande que toute quantité assignable; cette limite de l'accroissement des quantités positives est ce qu'on nomme l'infiniment grand, positif ou l'infini : on la représente par le signe ∞. Par exemple, si on donne au dénominateur a les valeurs de dix en dix fois plus petites $1, \frac{1}{10}, \frac{1}{100}, \frac{1}{1000}$, etc., la fraction $\frac{b}{a}$ prendra les valeurs de dix en dix foix plus grandes b, $10b$, $100b$, $1000b$, etc., de sorte qu'on pourra toujours prendre a assez petit pour que $\frac{b}{a}$ devienne plus grand que toute quantité donnée.

Quand a et b se réduisent simultanément à zéro, la fraction $\frac{b}{a}$ devient $\frac{0}{0}$. Or on peut prendre un nombre quelconque pour le quotient de la division de zéro par zéro; on dit par ce motif que la fraction $\frac{0}{0}$ est indéterminée.

Il peut cependant arriver qu'une fraction littérale se présente sous la forme $\frac{0}{0}$, en vertu d'une certaine hypothèse, et qu'elle ait cependant une valeur déterminée.

Si, par exemple, l'équation qui exprime toutes les conditions d'un problème, ayant conduit à $x = a + b$, on parvient par d'autres transformations à l'équation $x(a - b) = (a + b)(a - b) = a^2 - b^2$ qui renferme le facteur étranger $a - b$; la véritable valeur $a + b$ de x se présentera sous la forme $x = \frac{a^2 - b^2}{a - b}$. Tant que l'on donnera à a des valeurs différentes de b, chacune des expressions $a + b$, $\frac{a^2 - b^2}{a - b}$, conduira à la même valeur déterminée de x; mais quand on cherchera la valeur de x, correspondante à l'hypothèse $a = b$, la seconde expression de x se présentera sous la forme de $\frac{0}{0}$, quoique la véritable valeur de x soit $2a$.

ÉQUATIONS DU SECOND DEGRÉ.

(Partie non exigée.)

Soit à résoudre l'équation $ax^2 + px + q = 0$, dans laquelle a, p, q, sont des quantités numériques; en divisant tous les termes par le coefficient a on obtient :

$$x^2 + \frac{p}{a}x + \frac{q}{a} = 0.$$

Ajoutons et retranchons à la fois la quantité $\frac{p^2}{4a^2}$, il viendra

$$x^2+\frac{p}{a}x+\frac{p^2}{4a^2}+\frac{q}{a}-\frac{p^2}{4a^2}=0.$$

Or $x^2+\frac{p}{a}x+\frac{p^2}{4a^2}=\left(x+\frac{p}{2a}\right)\left(x+\frac{p}{2a}\right)=\left(x+\frac{p}{2a}\right)^2$.

Donc l'équation proposée peut se mettre sous la forme

$$\left(x+\frac{p}{2a}\right)^2=\left(\frac{p^2}{4a^2}-\frac{q}{a}\right).$$

Extrayant la racine carrée des deux nombres, il vient $\left(x+\frac{p}{2a}\right)=\pm\sqrt{\frac{p^2}{4a^2}-\frac{q}{a}}$. On met le double signe plus et moins, car dans ces deux cas le carré est toujours affecté du signe plus.

On tire donc enfin

$$x=-\frac{p}{2a}\pm\sqrt{\frac{p^2}{4a^2}-\frac{q}{a}}.$$

Telles sont les deux valeurs qui, mises à la place de x dans l'équation, la réduisent à une identité.

On peut remarquer que le premier terme de la valeur de x est égal à la moitié du coefficient de x pris en signe contraire, et divisé par le coefficient de x^2 dans l'équation proposée; et ce terme $-\frac{p}{2a}$ est égal à la somme des deux valeurs de x.

Le produit des deux valeurs de x qui est

$$\left(-\frac{p}{2a}+\sqrt{\frac{p^2}{4a^2}-\frac{q}{a}}\right)\left(-\frac{p}{2a}-\sqrt{\frac{p^2}{4a}-\frac{q}{a}}\right)=\frac{p^2}{4a^2}-$$

$\frac{p^2}{4a^2}+\frac{q}{a}=+\frac{q}{a}$, est donc égal au terme indépendant de x, divisé par le coefficient de x^2.

Formule du binôme.

Quand on fait le produit de $(x+a)$ par $(x+b)$ par $(x+c)$, etc., il est facile de trouver la forme du développement obtenu en partant du produit de deux binômes; en effet

$$(x+a)(x+b) = x^2 \begin{array}{l} +a \\ +b \end{array} \Big| \, x + ab.$$

Multiplions encore par $x+c$, il vient

$$x^3 \begin{array}{l} +a \\ +b \\ +c \end{array} \Bigg| \, x^2 \begin{array}{l} +ab \\ +bc \\ +ac \end{array} \Bigg| \, x + abc.$$

Nous remarquons que, en continuant à multiplier par $x+d$, nous obtenons toujours une suite de termes en x dont les puissances vont en décroissant. Nous voyons aussi que le premier coefficient est l'unité; le deuxième est égal à la somme des seconds termes; le troisième égale la somme des produits différents que l'on peut faire deux à deux avec les seconds termes, etc.

Pour faire voir que cette loi est générale, il faut établir que, si elle est vraie pour un produit de m facteurs, elle sera encore vraie pour un produit de $m+1$ facteurs. Or, d'après cette hypothèse, nous aurons pour développement une suite de termes de la forme

$$x^m + Ax^{m-1} + Bx^{m-2} + Cx^{m-3} + \ldots\ldots$$

Multiplions par $x+\lambda$, il viendra

$$x^{m+1} \begin{array}{l} +A \\ +\lambda \end{array} \Big| \, x^m \begin{array}{l} +B \\ +\lambda A \end{array} \Big| \, x^{m-1} \begin{array}{l} +C \\ +\lambda B \end{array} \Big| \, x^{m-2} \begin{array}{l} +\ldots \\ +\ldots \end{array}$$

Je dis que ces nouveaux coefficients sont formés d'après la même loi. Pour le démontrer il faut rechercher comment avec m lettres on peut former des produits différents de n lettres.

En considérant deux lettres a et b, on voit que l'on peut former deux produits différents d'une lettre et un seul de deux lettres. Tandis que, si l'on considère toutes les permutations possibles, on verra qu'il y en a deux pour deux lettres, a et b. Ces permutations sont ab et ba.

En en considérant trois, a, b, c, on en trouve six; car la lettre c peut occuper trois places différentes dans chaque permutation de deux lettres : cab, acb, abc, cba, bca, bac. En généralisant cette proposition, on voit que le nombre de permutations de m lettres est égal au produit $1 \times 2 \times 3 \ldots m$.

Nous avons jusqu'ici fait entrer dans les permutations toutes les lettres données. Si l'on se propose de chercher combien de permutations l'on peut effectuer avec n lettres, en supposant que l'on donne m lettres, ces permutations prendront le nom particulier de combinaisons. Or, ce nombre de combinaisons est facile à trouver; car m lettres donnent évidemment m combinaisons une à une. Pour trouver les combinaisons de deux lettres, il faut placer à la suite de chacune des combinaisons de une lettre chacune des $m-1$ lettres restantes; ce qui donne $m(m-1)$ pour le nombre des combinaisons de m lettres deux à deux, et par suite $m(m-1) \ldots [m-(n-1)]$ pour le nombre de combinaisons de m lettres, n à n.

Si nous appelons produits différents les combinaisons du même nombre de lettres, qui diffèrent au moins par une lettre, nous pourrons arriver par ce qui précède à déterminer le nombre de produits différents de m lettres prises n à n; car le nombre des combinaisons de m lettres prises n à n est égal au nombre de produits différents de m lettres prises n à n, multipliées par le nombre des permutations de m lettres. Donc, en divisant le nombre des combinaisons de m lettres prises n à n par le nombre des permutations de n lettres, le quotient indiquera le nombre de produits différents. Donc ce nombre est égal à

$$\frac{m(m-1)(\ldots\ldots[m-(n-1)]}{1 \quad 2 \ldots\ldots\ldots\ldots n.}$$

Revenons maintenant au produit de $(x+a)$ par $x+b$; son développement

$$\begin{array}{l|l} x^2 + a & x + ab \\ + b & \end{array}$$

nous fait voir que le coefficient de x est égal à la somme des produits différents que l'on peut effectuer avec deux lettres en les prenant une à une.

Le terme ab nous indique le nombre de produits différents que l'on peut former avec deux lettres en les prenant deux à deux.

Supposons donc que les coefficients successifs du développement général expriment le deuxième, la somme des produits différents de m lettres une à une, et le n^{me} terme la somme de produits différents de m lettres $n-1$ à $n-1$.

Je dis que cette loi aura encore lieu par l'addition d'un nouveau facteur $x+\lambda$. En effet, le développement

$$x^{m-1} + \begin{matrix} A \\ +\lambda \end{matrix} \Big| \, x^{m} + \begin{matrix} B \\ +A\lambda \end{matrix} \Big| \, x^{m-1} + \begin{matrix} C \\ +B\lambda \end{matrix} \Big| \, x^{m-2} + \ldots$$

vérifie très bien notre hypothèse; car $A+\lambda$ est la somme des produits de $m+1$ lettres une à une; $B+A\lambda$ est la somme des produits différents de $m+1$ lettres 2 à 2, etc.

Nous pouvons donc supposer tous les seconds termes a b c d, etc., des facteurs $x+a$, $x+b$, $x+c$, etc., égaux à a; et nous pourrons, dans ce cas particulier, voir ce que devient le développement

$$x^{m} + A x^{m-1} + B x^{m-2} + \ldots\ldots K x^{m-n}.$$

En effet, $A = ma$, $B = \dfrac{m\,m-1}{1 \quad 2} a^{2} \ldots K = \dfrac{m(m-1)\ldots[m-(n-1)]}{1 \quad 2 \ldots\ldots (m-n)} a^{n}$.

Ainsi nous pouvons écrire

$$(x+a)^{m} = x^{m} + max^{m-1} + \frac{m\,m-1}{1 \quad 2} a^{2} x^{m-2} + \ldots \frac{m(m-1)\ldots.[m-(n-1)]}{1 \quad 2 \qquad m-n} a^{n} x^{m-n}, \text{ etc.}$$

Extraction d'une racine d'un degré quelconque.

La quantité qui, élevée au carré, reproduit une quantité donnée, se nomme la racine carrée de cette quantité. On appelle racine quatrième d'une quantité A, une quantité B qui, élevée à la puissance 4, ou qui, multipliée 4 fois par elle-même, reproduit cette quantité.

Pour indiquer la racine n^{me} de A, on a l'habitude d'écrire $\sqrt[n]{A}$, de sorte que l'on a $B = \sqrt[n]{A}$.

Pour élever un monôme à une puissance n^{me}, il faut multiplier par n les exposants des différents facteurs qui le composent.

Ainsi $(p\,q\,r\ldots)^n = p^n\,q^n\,r^n$.

Ainsi, pour extraire la racine n^{me} d'un monôme, il faut diviser chacun des exposants par n.

Pour extraire la racine n^{me} d'un polynôme, il faut avoir recours au développement du binome. La méthode à suivre dans le cas général étant analogue à celle que l'on emploie pour déterminer la racine carrée d'un polynôme, nous allons l'exposer ici, parce qu'elle est plus simple d'ailleurs.

Soit un polynôme

$$a + b + c + d,$$

dans lequel a, b, c, d, représentent des quantités quelconques. Elevons ce polynôme au carré, nous aurons

$$\begin{aligned}(a + b + c + d)^2 = a^2 &+ 2ab + b^2 \\ &+ 2(a + b)c + c^2 \\ &+ 2(a + b + c)d + d^2,\end{aligned}$$

d'où l'on conclut que le carré d'un polynôme, quel que soit le nombre de ses termes, contient le carré du premier terme, plus le double produit du premier par le deuxième, etc.

Proposons-nous maintenant d'extraire la racine carrée d'un polynôme A + B + C, ordonnée suivant les puissances décroissantes de x, et représentons ce polynôme par P.

Désignons par $a + b + c$ la racine ordonnée de la même manière, son carré devra reproduire le polynôme P. Or, d'après la règle ci-dessus, parmi les termes qui composent le carré de cette racine, celui dans lequel x a le plus haut exposant est évidemment a^2; donc A est le carré de a. Donc le premier terme de la racine s'obtient en extrayant la racine carrée du premier terme du polynôme proposé. Retranchons de P le carré de ce terme, le reste, que j'appellerai R, sera

$$R = B + C + \ldots$$

Il devra contenir le double produit du premier terme de la ra-

cine par le deuxième, plus le carré du deuxième, etc.; or, il est facile de voir que le double produit du premier terme par le deuxième doit contenir x à un plus haut exposant que les autres parties de R; donc B est ce double produit; donc le deuxième terme de la racine se trouve en divisant le premier terme du reste par le double du premier terme de la racine.

Le même raisonnement ferait voir que pour trouver le troisième terme il faudrait retrancher du polynôme donné le carré de $a + b$, et diviser le premier terme du reste par le double de $(a + b)$, ou par le double de a.

En appliquant ces raisonnements à l'extraction de la racine n^{me}, le développement du binôme ferait d'abord voir la loi de sa composition, et les raisonnements que nous avons suivis pour l'extraction de la racine carrée feraient facilement voir que le premier terme de la racine s'obtient, après avoir ordonné le polynôme suivant les puissances décroissantes de x, en extrayant la racine n^{me} du premier terme, et le second en divisant le premier terme du reste par n fois la $(n-1)^{me}$ puissance du premier terme de la racine, etc.

Résolution des équations numériques d'un degré quelconque.

Toute équation du degré m à une seule inconnue peut être ramenée à la forme

$$y^m + \frac{p x^{m-1}}{p'} + \frac{q x^{m-2}}{q'} + \dots\dots \frac{r x}{r'} + \frac{s}{s'} = o,$$

et en posant

$$y = \frac{x}{p'q' \dots r's'},$$

on la ramène à la forme

$$x^m + P x^{m-1} + Q x^{m-2} + T x + V = o$$

dans laquelle P, Q . . . . sont des nombres entiers positifs ou négatifs.

Toute quantité positive ou négative, entière ou incommensurable, réelle ou imaginaire, qui, mise à la place de x dans l'équation, la réduit à une identité, s'appelle racine de cette équation.

On regarde comme évident que toute équation a au moins une racine.

Appelons a cette racine, je dis que le premier membre de l'équation proposée est divisible par $x - a$; en effet, si l'on effectue la division de ce premier membre, on trouve pour reste :

$$a^m + Pa^{m-1} + \ldots + a + V;$$

or, si par hypothèse a est racine, ce reste est nul, donc la division est possible exactement.

Appelons X le premier membre de l'équation proposée, nous aurons

$X = (x - a) X'$, en appelant X', le quotient de la division de X par $x - a$.

En continuant de la sorte, nous arriverons à la relation

$$X = (x - a)(x - b) \ldots\ldots$$

qui indique qu'une équation du degré m a m racines. En faisant le produit de $(x - a)$ par $(x - b)$, etc., on trouve un développement qui doit être identique à X, donc $P = -(a + b + \ldots)$, $Q = (ab + bc + ca +$, etc.

Quand deux nombres α, α', mis à la place de X dans x, donnent deux résultats de signes contraires, il y a au moins une racine réelle comprise entre ces deux nombres; car, en changeant dans X, x en $x + \delta$, il vient

$$X + \delta (N + \delta P + \delta^2 Q + \ldots);$$

or, il est visible qu'en prenant δ suffisamment petit, on pourra rendre le terme $\delta (N + \delta P + \ldots)$ aussi petit que l'on voudra; on peut donc faire croître x depuis α jusque α'; de manière que le résultat de cette substitution varie par degrés insensibles; par conséquent ce résultat ne pourra changer de signe sans passer par zéro.

Ce résultat pouvant du reste passer par zéro un nombre impair de fois, il s'ensuit qu'il peut y avoir entre α et α' un nombre impair de racines réelles.

Si α et α' donnaient des résultats de même signe, ou bien il n'y aurait aucune racine réelle comprise, ou il y en aurait un nombre pair.

On appelle limite supérieure des racines positives d'une équation tout nombre plus grand que la plus grande racine positive

de cette équation. En appelant M le plus grand des coefficients négatifs de l'équation, et n le nombre des termes qui précèdent, le premier terme négatif $1+\sqrt[n]{M}$ sera une limite supérieure des racines positives ; car la somme des termes négatifs est moindre que

$$M\,(x^{m-n}+x^{m-n-1}\ldots\ldots\ldots x+1), \text{ ou que } \frac{M\,(x^{m-n+1}-1)}{x-1};$$

mais si l'on fait $\sqrt[n]{M}=p$, d'où $M=p^n$, et qu'ensuite on fasse $x=p+1$, l'expression ci-dessus se change en celle-ci :

$$p^{n-1}\,[(p+1)^{m-(n-1)}-1], \text{ ou bien}$$

$$\left(\frac{p}{p+1}\right)^{n+1}\times(p+1)^m-p^{n-1}$$

quantité plus petite que $p+1$.

Ainsi, la valeur $\sqrt[n]{M}+1$, mise à la place de x, rend donc le premier membre positif.

On obtient la limite supérieure des racines négatives en changeant x en $-x$, et en cherchant la limite des nouvelles racines positives.

La limite inférieure s'obtient en cherchant la limite supérieure dans la nouvelle équation qu'on obtient en changeant x en $\frac{1}{x}$.

Toute équation qui a une racine imaginaire de la forme $\alpha+6\sqrt{-1}$ *en a une autre de la forme* $\alpha-6\sqrt{-1}$.

En effet, puisque $\alpha+6\sqrt{-1}$ est par hypothèse racine, elle devra, étant mise à la place de x, rendre $X=o$ identique. Or, le résultat de cette substitution, qui est de la forme $M+N\sqrt{-1}$ doit donc être égal à zéro. Donc on doit avoir $M=o$ et $N=o$. Substituant maintenant à la place de x dans

$X = o$ la valeur $x = 6\sqrt{-1}$, le résultat de cette substitution sera évidemment égal à $M - N\sqrt{-1}$, et par suite égal à zéro, puisque M et N sont nuls.

Théorème de Descartes.

Quand on passe d'un terme au suivant, on dit qu'il y a variation ou permanence selon que le signe change ou qu'il reste le même. Cela posé, nous allons démontrer qu'une équation quelconque, complète ou incomplète, ne peut avoir plus de racines positives que de variations.

Considérons une équation quelconque, complète ou incomplète, et renfermant tels signes qu'on voudra, je la présenterai de cette manière :

$$x^m \ldots - P \ldots + Q \ldots - R \ldots \pm T \ldots \pm V = o.$$

Ici P, Q, R, seront des termes ordonnés comme à l'ordinaire, et contenant une puissance de x avec son coefficient; les points indiquent des lacunes dont chacune est remplie par des termes de même signe que celui qui la précède; c'est-à-dire qu'à x^m commence une série de signes $+$, à $-$P, une série de signes $-$, ainsi de suite.

Pour introduire dans l'équation une nouvelle racine positive $+a$, il faut la multiplier par $x - a$, et l'opération peut se disposer comme ci-dessus.

$$x^m \ldots - P \ldots + Q \ldots - R \ldots \pm T' \ldots \pm V$$
$$x - a$$

$$x^{m+1} \ldots - P' \ldots + Q' \ldots - R' \ldots \pm T' \ldots \pm V'$$
$$\ldots - P'' \ldots + Q'' \ldots - R'' \ldots \pm T'' \ldots\ldots \mp Va$$

$$x^{m+1} \ldots - P''' \ldots + Q''' \ldots - R''' \ldots \pm T''' \ldots\ldots \mp Va$$

P' Q' désignent les produits Px, Qx, etc., aucun n'est égal à zéro.

P'' Q'', etc., désignent des produits qui proviennent de la multiplication par a, et qui renferment x au même degré que P' Q', etc.

P''' Q''', etc., désignent les termes de même degré en x que P' Q', et aucun d'eux ne doit être nul ; enfin, on remarquera

que dans la seconde ligne des produits pareils, les lacunes doivent être regardées comme remplies par des termes de signes contraires à ceux qui se trouvent au-dessus d'eux dans la première ligne des produits, de sorte que les signes qui affectent dans le produit total les termes correspondants à ces lacunes doivent rester indéterminés tant qu'on n'assigne pas de valeurs particulières aux coëfficients de l'équation proposée.

Or, quels que soient ces signes, il est évident qu'il y a dans le produit total au moins une variation de x^{m+1} à $-P'''$, tandis que le multiplicande n'en contient qu'une seule de x^{m} à $-P$. De même il y en a au moins une de $-P'''$ à $+Q'''$, et une seule de $-P$ à $+Q$; et en continuant ainsi, on reconnaît qu'à la fin le produit a au moins une variation de $\pm T'''$ à $\mp Va$, tandis que le multiplicande n'en a aucune après le terme $\pm T$, donc le produit a au moins une variation de plus que le multiplicande; de là on conclut que chaque racine positive, pour être introduite dans une équation, doit y apporter au moins une variation.

Des racines égales.

Si, dans une équation $X=o$, on remplace x par $x+\delta$, on trouvera, en développant et ordonnant par rapport aux puissances ascendantes de δ,

$$\left.\begin{array}{l} {}^{m} \\ +Px^{m-1} \\ +\ldots \\ \ldots\ldots \\ +Rx^{2} \\ +Tx \\ +V \end{array}\right. \quad \left.\begin{array}{l} +mx^{m-1} \\ +(m-1)Px^{m-2} \\ +\ldots \\ \ldots\ldots \\ +2Rx. \\ +T \\ \end{array}\right| \delta + \left.\begin{array}{l} \dfrac{m(m-1)}{2}x^{m-2} \\ +\dfrac{(m-1)(m-2)}{2}Px^{m-3} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots \\ \ldots\ldots \\ R \end{array}\right| \delta^{2}\ldots+\delta^{m}=o$$

Résultat que l'on peut écrire

$$X+X'\delta+X''\delta^{2}\ldots\delta^{m}=o$$

Le polynôme X' s'appelle polynôme dérivé de X,

Si, dans l'équation $X=o$ on fait $x=x'+\delta$, x' étant une des racines de l'équation, on aura

$$X,+X'\delta+X''\delta^{2}+\ldots+\delta^{m}=o;$$

or, puisque x' est racine $X_{,} = o$, supprimant donc $X_{,}$, et divisant par δ, il vient

$$X' + X'' \delta + \quad + \delta^{m-1} = o;$$

or, δ exprime la différence entre la racine x' et toutes les autres.

Si donc l'équation donnée a deux racines égales x', l'équation en δ doit être vérifiée par $\delta = o$, il faut pour cela qu'on ait $X' = o$.

Les deux équations $X = o$ et $X' = o$ étant vérifiées par une même valeur de x, elles ont un facteur commun.

On voit donc que, pour débarrasser une équation de ses racines égales, il faut chercher le plus grand commun diviseur entre le premier membre de cette équation et son polynôme dérivé, et diviser ce premier membre par le plus grand commun diviseur.

Théorème de Sturm.

Soit $X = o$ une équation dont toutes les racines sont différentes, soit X' son polynôme dérivé, cherchons le plus grand commun diviseur.

Appelons q, q', q'' etc., les quotients successifs. Changeons en faisant le calcul le signe de chaque reste, soient R, R', R'', ces restes, nous aurons

$$\begin{aligned}
X &= q X' - R \\
X' &= q' R - R' \\
R &= q'' R' - R'' \\
&\ldots\ldots\ldots\ldots \\
R^{n-2} &= q^{n+1} R^{n} - R^{n+1}
\end{aligned}$$

Supposons que nous donnions à x deux valeurs α et 6, et faisons croître x depuis α jusqu'à 6 en l'augmentant successivement de quantités égales à δ; aucune de ces valeurs ne saurait annuler à la fois deux termes consécutifs de la série X X' R...; car si R^2 R^3 devenaient nuls d'après les équations ci-dessus, R', R, X' et X deviendraient nuls, ce qui est impossible, puisque l'équation proposée n'a pas de racines egales.

Si la supposition $x = a$, annulle quelques uns de ces termes, par exemple, le terme R sans annuler X, le nombre des variations

et permanences formées par ces termes ne sera pas changé, car la relation

$$R^{n-2} = q^{n+1} R_n - R^{n+1}$$

montre que si pour $x = a$, R^n est nul, R^{n-2} et R^{n+1} sont nécessairement de signes contraires, et ces trois quantités formeront, quant aux signes, l'une des suites $+ o -$, ou $- o +$, qui donnent toujours une variation et une permanence, soit que l'on prenne o, ou avec le signe plus, ou avec le signe moins.

Si la supposition $x = a$ annulle X, il y aura une variation changée en permanence; car si l'on fait $x = a + \delta$, appelons A et $A_{,}$ ce que deviendront x et x', et désignons par $B\ B'\ B''$ et par $B_{,}\ B'_{,}\ B''_{,}$, ce que deviendront les dérivés de X et de X', par la supposition de $x = a + \delta$ il viendra :

$$A = B + B'\delta + B''\delta^2 \text{ etc. } A_{,} = B_{,} + B'_{,}\delta + B''_{,}\delta^2 \text{ etc.}$$

Or puisque a annulle X, on a $B = o$; d'ailleurs il est clair que $B' = B$, puisque ces deux quantités représentent les valeurs particulières que prennent deux dérivées égales pour $x = a + \delta$, donc il vient

$$A = B'\delta + B''\delta^2 + \ldots\ldots\ A_{,} = B_{,} + B'_{,}\delta + \ldots\ldots$$

Mais on peut toujours prendre δ assez petit pour que A et $A'_{,}$ soient de même signe que leur premier terme, donc X et $X_{,}$ sont de même signe pour $x = a + \delta$, et de signe contraire pour $x = a - \delta$; donc, dans le passage de la seconde à la première, il y aura une variation changée en permanence.

Or si x continue à croître chaque fois qu'il deviendra égal à une des racines réelles de la proposée, il y aura une variation changée en permanence; donc, si l'on compte les nombres de variations correspondant aux suppositions $x = \alpha$ et $x = \beta$, la différence de ces deux nombres de variations exprimera le nombre de racines réelles comprises entre α et β.

De l'élimination.

Soit à éliminer x entre deux équations, $M = o$ et $N = o$, contenant différentes puissances de x et de y. Il faut commencer par enlever les facteurs communs monômes, et les facteurs communs en x et ensuite en y, et pour y parvenir on ordonne les deux polynômes, par rapport à x par exemple ; les facteurs

communs en y se trouvent parmi les coefficients de x. Pour trouver les facteurs communs en x on ordonne par rapport à y.

Pour trouver les facteurs communs en x et y, on cherche le plus grand commun diviseur, et c'est le dernier diviseur obtenu qui contient ces facteurs communs; nous supposons donc ces deux polynômes débarrassés de leurs facteurs communs. Pour éliminer x entre ces deux polynômes, nous les ordonnons par rapport à x, et nous cherchons le plus grand commun diviseur. Ces deux polynômes étant premiers entre eux, nous trouverons un reste indépendant de x, soit Y ce reste: si l'on pose $Y = o$, chaque racine tirée de cette équation annulle Y. Donc en substituant cette valeur dans M et N, ces deux polynômes auront un facteur commun, puisque le reste est nul, et seront annulés par une même valeur de x. Cette valeur de x jointe à celle de y vérifiera l'équation proposée.

CINQUIÈME PARTIE.

GÉOMÉTRIE ANALYTIQUE.

DES PROBLÈMES DÉTERMINÉS.

On appelle géométrie analytique la partie des mathématiques qui a pour but d'appliquer l'algèbre à la résolution des questions de géométrie.

Les lignes, les surfaces, les solides peuvent être rapportés à une unité de mesure, et évalués en nombres pour plus de généralité; ces nombres peuvent être représentés par des lettres, et dès lors on conçoit comment les grandeurs de la géométrie peuvent être soumises à tous les calculs de l'algèbre et de l'arithmétique.

Il arrive souvent qu'une question de géométrie est si facile à mettre en équation qu'il n'est pas besoin de règle pour y parvenir; s'il s'agit, par exemple, de partager une droite en moyenne et extrême raison, on désignera par a la ligne donnée et par x le plus grand segment, alors le plus petit segment sera $a-x$ et d'après l'énoncé du problème on posera de suite

$$x^2 = a(a-x)$$

d'où l'on tire $x = -\frac{a}{2} \pm \sqrt{a^2 + \frac{a^2}{4}}$.

La seconde valeur est négative et ne saurait convenir à la question, car il est évident que le segment cherché ne peut être qu'une quantité positive, on n'a donc qu'une solution, avoir :

$$x = -\frac{a}{2} + \sqrt{a^2 + \frac{a^2}{4}}.$$

Il est clair que quand on aura évalué en nombre la ligne donnée au moyen d'une certaine unité de longueur, il ne restera plus qu'à exécuter les calculs indiqués dans la formule précédente pour connaître le nombre d'unités linéaires contenues dans le segment cherché.

Dans le cas où l'on n'aperçoit pas immédiatement l'équation cherchée, il faut se servir de la règle suivante posée par Newton.

Quand un problème est proposé, il faut le regarder comme résolu, et comparer entre elles toutes les quantités qu'il renferme sans aucune distinction entre celles qui sont connues et celles qui sont inconnues, examiner ensuite comment elles dépendent les unes des autres afin de reconnaître quelles sont celles qui étant données pourraient conduire à la détermination des autres; il sera alors facile de mettre le problème en équation.

Cependant l'application de cette règle n'est pas toujours facile et il arrive dans beaucoup de cas que l'on est obligé de tracer sur la figure des lignes auxiliaires qu'il faut exprimer d'abord par le moyen des lignes qu'on regarde comme connues, et dont les valeurs doivent ensuite entrer dans les valeurs des lignes qu'on regarde comme inconnues. Alors les calculs deviennent embarrassants quand ces valeurs sont compliquées d'un grand nombre de termes, dans ce cas on modifie la règle précédente comme il suit :

Après avoir tracé sur la figure toutes les lignes connues ou inconnues qui se trouvent dans la question proposée, on mènera les lignes auxiliaires qu'on jugera propres à en faciliter la solution par l'emploi des théorèmes de géométrie. Ces lignes auxiliaires seront de nouvelles inconnues que l'on considèrera comme si elles étaient dans l'énoncé même de la question; alors on posera les équations qui lient entre elles toutes les lignes de la figure. Quand le problème est déterminé, on arrivera toujours à un nombre d'équation égal à celui des lignes inconnues, et le problème de géométrie sera ramené à la solution de ces équations.

Des valeurs négatives des inconnues.

En résolvant l'équation précédente

$$x^2 = a(a - x)$$

nous avons trouvé pour x deux valeurs, l'une positive et l'autre

négative ; cependant l'énoncé de l'équation semblait ne laisser prévoir qu'une solution positive. Il est important de reconnaître ce qui indique la valeur négative de x et ce qui a pu l'introduire dans l'équation ; or, pour s'en rendre compte, il faut remarquer que partager une droite en moyenne et extrême raison c'est (fig. 8) partager une droite A B en deux parties A M, M B, de telle sorte que le segment A M soit moyen proportionnel entre la ligne entière A B et l'autre segment M B. En posant A M $=x$, M B $=a-x$, A B $=a$, l'équation du problème est :

$$x^2=a(a-x)$$

d'où l'on tire les deux valeurs

$$x=-\frac{a}{2}\pm\sqrt{a^2+\frac{a^2}{4}}.$$

La première est positive et moindre que a, elle détermine un point M entre A et B. La seconde est négative, et par cette raison ne saurait convenir.

En changeant dans l'équation le signe de x elle devient

$$x^2=a(a+x)$$

et prenant positivement la valeur de x qui était tout à l'heure négative, on aura l'expression

$$x=\frac{a}{2}+\sqrt{a^2+\frac{a^2}{4}}$$

qui devra satisfaire à l'équation précédente ; or, cette équation est précisément celle qu'on trouve si l'on cherche sur le prolongement de la droite B A, au-delà de A, un point M$'$ tel que la distance A M$'$ soit moyenne proportionnelle entre la distance B M$'$ et la droite donnée A B. De là il suit qu'en portant la valeur positive de x du côté A B à droite de A, et la valeur négative de x prise, abstraction faite de son signe, du côté A X à gauche de A, on aura toutes les solutions du problème proposé, généralisé ainsi qu'il suit :

Sur une droite indéfinie qui passe par deux points donnés, A et B, déterminer un point dont la distance au point A soit moyenne proportionnelle entre sa distance à l'autre point B et la

distance donnée AB. On aurait pu proposer d'abord ce dernier énoncé, alors considérant le problème comme résolu et supposant que le point M en remplit toutes les conditions, nous aurions fait encore l'inconnue $AM = x$, et nous serions arrivé à la même équation $x^2 = a(a - x)$, et aux mêmes valeurs de x

$$x = -\frac{a}{2} \pm \sqrt{a^2 + \frac{a^2}{4}}.$$

Mais dès le commencement nous avons introduit une restriction étrangère à l'énoncé, car nous avons assujetti nos calculs à la supposition que le point cherché n'était pas placé entre les points A et B. La valeur positive est la seule qui réponde à cette hypothèse, et la valeur négative étant prise positivement, et portée du côté AX, opposé à celui où l'on a cherché le point M, déterminera la seconde solution du problème.

Ainsi, la valeur négative sert tantôt à compléter la résolution d'un problème dont la question proposée n'est qu'un cas particulier, tantôt à élever une restriction introduite pour pouvoir faire les raisonnements et les calculs. Mais ce qu'il faut remarquer dans tous les cas, c'est que cette valeur prise en grandeur absolue a été portée du côté opposé à celui où devait être située la distance cherchée.

PROBLÈMES INDÉTERMINÉS.

Moyens de représenter les lieux géométriques par des équations.

On a vu en trigonométrie que $\sin^2\alpha + \cos^2\alpha = R^2$; si l'on pose $\sin^2\alpha = x^2$, et $\cos^2\alpha = y^2$, on aura $x^2 + y^2 = R^2$. Cette dernière équation représente un lieu géométrique, car cette relation a lieu pour tous les points de la circonférence du cercle dont le rayon est R, et n'a lieu que pour ces points.

On voit donc qu'il est possible de représenter une courbe au moyen d'une équation à deux inconnues. Pour construire les différents points de cette courbe on donne une certaine valeur à l'une des deux quantités x ou y que l'on appelle variable, et l'on tire la valeur de l'autre; on peut remarquer ici qu'elle a deux valeurs. Nous l'avions déjà remarqué en trigonométrie, car l'angle

A a même sinus que $180 - A$, mais les cosinus de ces deux angles sont de signes contraires.

DES COORDONNÉES.

Pour fixer sur un plan la position d'un point M (fig. 9), on trace dans ce plan deux droites XX', YY', que l'on nomme axes, et l'on considère ce point comme le sommet d'un parallélogramme MBOA, dont les axes sont des côtés prolongés. La distance MA ou son égale AO est dite l'abscisse du point M, et la distance MA ou son égale BO est dite l'ordonnée de ce point. L'abscisse et l'ordonnée d'un point sont les coordonnées de ce point; et le point O où les axes se coupent, se nomme l'origine des coordonnées.

On représente les abscisses par la lettre x et les ordonnées par la lettre y; et l'on regarde comme positives les abscisses comptées de O vers X et comme négatives celles qui sont comptées de O vers X'; de même on regarde comme positives les ordonnées comptées de O vers Y et comme négatives celles qui sont comptées de O vers Y'. D'après cela, si l'on considère 4 points M, M', M'', M''', dont les coordonnées aient les mêmes valeurs absolues x et y, celles du point M seront $+x$ et $+y$; celles de M', $-x$ et $+y$; celles de M'', $-x$ et $-y$; celles de M''' seront $+x$ et $-y$.

Ainsi la position d'un point sur un plan est parfaitement connue quand on sait la valeur absolue et les signes de ses coordonnées.

L'axe YY' se nomme l'axe des ordonnées ou l'axe des y, et l'axe XX' celui des abscisses ou l'axe des x.

Transformation des coordonnées.

Nous avons vu que l'équation du cercle rapporté à deux diamètres rectangulaires, était $x^2+y^2=R^2$; dans ce cas les 2 diamètres sont les deux axes XX' et YY' rectangulaires auxquels la courbe est rapportée. Supposons que l'on veuille chercher l'équation du cercle rapporté à deux axes parallèles aux premiers; appelons α et β les coordonnances de cette nouvelle origine (fig. 10). Soit O le centre, M un point de la circonférence. Me-

nons O B, M P, perpendiculaires à l'axe A X, et O Q perpendiculaire à M P. Le triangle O M Q donne $\overline{OQ}^2 + \overline{MQ}^2 = \overline{OM}^2$; or $OQ = AP - AB = x - a$ et $MQ = MP - OB = y - 6$ et $OM = R$, donc l'équation du cercle rapporté à ses nouveaux axes est :

$$(x - \alpha)^2 + (y - 6)^2 = R^2.$$

Ce procédé de transformation est général. Pour trouver l'équation B d'une courbe rapportée à de nouveaux axes parallèles aux premiers, il faut dans l'équation A changer x en $x - a$ et y en $y - b$; a et b désignant les coordonnées de la nouvelle origine rapportées aux anciens axes.

Passons au cas général de transformation où l'on change en même temps l'origine et la direction des axes.

Soient (fig. 11) Ax et Ay les axes primitifs qui forment entre eux l'angle $yAx = \theta$; pour déterminer les nouveaux axes $A'x'$, $A'y'$, il suffit de connaître les coordonnées AB, $A'B$ de l'origine A' et les angles $x'A'F$, $y'A'F$, que ces axes font avec la droite $A'F$ parallèle à Ax; désignons ces deux coordonnées par a et b, et les deux angles par α et α'.

Soit M un point quelconque; menez M P parallèle à Ay et M Q parallèle à $A'y'$, les anciennes coordonnées du point M seront $AP = x$, $PM = y$, et les nouvelles seront $A'Q = x'$, $MQ = y'$.

Par le point Q menez Q R parallèle à Ay et Q T parallèle à Ax, on aura :

AP ou $x = a + A'S + QT$, PM ou $y = b + QS + MT$.

D'après la trigonométrie, le triangle $A'QS$ donne :

$$\frac{A'S}{\sin A'QS} = \frac{QS}{\sin QA'S} = \frac{A'Q}{\sin A'SQ}.\ \text{Mais } AQ = x'.$$

$\sin A'QS = \sin EA'x' = \sin(\theta - \alpha)$.

$\sin QA'S = \sin \alpha$.

$\sin A'SQ = \sin(180 - \theta) = \sin\theta$.

$$\text{Donc } \frac{A'S}{\sin(\theta - \alpha)} = \frac{QS}{\sin\alpha} = \frac{x'}{\sin\theta}.$$

$$A'S = \frac{x' \sin(\theta - \alpha)}{\sin\theta},\ QS = \frac{x' \sin\alpha}{\sin\theta}.$$

Semblablement le triangle M Q T donne :

$$\frac{QT}{\sin QMT} = \frac{MT}{\sin MQT} = \frac{MQ}{\sin MTQ}, \text{ mais } MQ = y'.$$

$\sin QMT = \sin y'A'E = \sin(\theta - \alpha')$; $\sin MQT = \sin y'A'F = \sin \alpha'$; $\sin MTQ = \sin(180 - \theta) = \sin \theta$.

$$\text{D'où } \frac{QT}{\sin(\theta - \alpha')} = \frac{MT}{\sin \alpha'} = \frac{y'}{\sin \theta}.$$

$$\text{D'où } QT = \frac{y' \sin(\theta - \alpha')}{\sin \theta}, \quad MT = \frac{y' \sin \alpha'}{\sin \theta}.$$

Et remplaçant A'S, QT, QS, MT, par leurs valeurs, on trouve :

$$x = \alpha + \frac{x' \sin(\theta - \alpha) + y' \sin(\theta - \alpha')}{\sin \theta}$$

$$y = 6 + \frac{y' \sin \alpha + y' \sin \alpha'}{\sin \theta}.$$

Pour passer d'un système de coordonnées rectangulaires au système des coordonnées obliques, on fait $\theta = 90$. Elles viennent :

$$x = \alpha + x' \cos \alpha + y' \cos \alpha',$$
$$y = 6 + x' \sin \alpha + y' \sin \alpha'.$$

Pour passer d'un système rectangulaire à un autre aussi rectangulaire, on pose $\alpha' = 90 + \alpha$. Il vient :

$$x = a + x' \cos \alpha - y' \sin \alpha,$$
$$y = b + x' \sin \alpha + y \cos \alpha.$$

CLASSIFICATION DES LIGNES.

De la ligne droite.

Une relation quelconque entre deux variables x et y, exprimée par une équation, représente généralement une courbe. Aussi le nombre des diverses courbes que l'on peut ainsi représenter est-il infini.

On appelle courbes algébriques toutes celles qui sont représentées par une équation de la forme $Ay^m + (Bx + c)$

$y^{m\cdot 1} + (Dx^2 + Ex + F)\, y^{m\cdot 2} \ldots = o$, et transcendantes toutes les autres.

On classe ensuite les lignes algébriques d'après le degré de leurs équations par rapport aux coordonnées x et y, l'ordre de la ligne est marqué par l'exposant de ce degré.

Nous nous contenterons ici d'étudier les courbes renfermées dans l'équation générale du second degré, $Ay^2 + Bxy + Cx^2 + Py + Ex + F = o$. Pour passer en revue les différentes figures que cette équation représente, nous ferons sur divers coefficients qu'elle renferme diverses hypothèses, et nous commencerons par supposer $A = o$, $B = o$ et $C = o$; ce qui ramène l'équation au premier degré, et, divisant tous les termes restants par le coefficient D, il vient;

$$y + ax + b = o.$$

Pour simplifier encore, supposons $b = o$.

L'équation $y + ax = o$ représente une ligne M droite, passant par l'origine des coordonnées; et l'équation $y + ax + b = o$, une droite N parallèle à la première, et coupant l'axe des y en un point dont l'ordonnée est b; c'est ce qu'il est facile de vérifier.

On peut proposer sur les lignes droites plusieurs problèmes intéressants; comme ces problèmes ne présentent pas de difficultés, nous n'y insisterons pas. On peut demander, par exemple, étant données deux équations

$$y = px + q,\; y = p'x + q,$$

de trouver les coordonnées des points d'intersection de ces deux droites: c'est chercher les valeurs de x et de y qui satisfont à la fois à ces deux équations; de déterminer l'angle de ces deux droites, etc.

Lignes du second ordre.

L'équation générale du second degré à deux variables: $Ay^2 + Bxy + Cx^2 + Dy + Ex + F = o$, étant résolue par rapport à y, donne:

$$Y = -\frac{B}{2A}x - \frac{D}{2A} \pm \frac{1}{2A}.$$

$$\sqrt{(B^2 - 4AC)x^2 + 2(BD - 2AE)x + D^2 - 4AF},$$

que l'on écrit :

$$Y = ax + b \pm G\sqrt{nx^2 + px + q}.$$

Pour construire la courbe représentée par cette équation, il est évident qu'il suffira de construire la droite $y = ax + b$, et de porter au-dessus et au-dessous, sur une parallèle à l'axe des Y, deux longueurs $\alpha\beta$ et $\beta\gamma$ égales entre elles, et égales à la valeur particulière que prend l'expression $G\sqrt{nx^2 + px + q}$; quand on fait $x = o\mu$, la droite $\delta\beta$ s'appelle diamètre parce qu'elle coupe en deux parties égales toutes les cordes parallèles à l'axe des Y (fig. 12).

La forme de la courbe dépend des coefficients n, p, q. Si n est négatif, x ne peut pas croître indéfiniment; on le démontre en algèbre. Dans ce cas la courbe est fermée, car elle est limitée dans tous les sens.

Si n est positif, la courbe est illimitée dans tous les sens, c'est-à-dire dans le sens des X positifs et négatifs, et dans celui des y positifs et négatifs.

Si $n = o$, on a $G\sqrt{px + q}$; si l'on prend x de même signe que p, le radical sera toujours réel au-delà d'une certaine valeur. Si on le prend de signe contraire, le radical devient imaginaire au-delà d'une certaine valeur. La courbe sera donc limitée dans un sens, illimitée dans l'autre.

Simplification de l'équation générale.

En transportant les axes parallèlement à eux-mêmes, ce qui revient à changer x en $x' + a$, y en $y' + b$, dans l'équation générale, il vient :

$$Ay'^2 + Bx'y' + Cx'^2 + (2Ab + Ba + D)y' + (2Ca + Bb + E)x' + Ab^2 + Bab + Ca^2 + Db + Ea + F = o.$$

Comme nous n'avons rien spécifié sur a et b, nous pouvons déterminer ces deux longueurs par les conditions suivantes :

$$2Ab + Ba + D = o, \text{ et } 2Ca + Bb + E = o,$$

ce qui donne $a = \dfrac{2AE - BD}{B^2 - 4AC}$ $b = \dfrac{2CD - BE}{B^2 - 4AC}$;

or nous savons que $B^2 - 4AC$ a été représenté par n dans le radical $\sqrt{nx^2 + px + q}$; on voit par conséquent que la simplification n'a lieu que pour $n \lessgtr o$. Dans ces deux cas, l'équation simplifiée est de la forme

$$Ay'^2 + Bx'y' + Cx'^2 + Q = o.$$

Cherchons encore à la réduire en employant des coordonnées ayant même origine, mais des directions différentes des premières; pour cela remplaçons x' par $x'' \cos\alpha - y'' \sin\alpha$, et y par $x'' \sin\alpha + y'' \cos\alpha$, il viendra :

$$\begin{array}{l|l|l|l} A\cos^2\alpha & y''^2 + 2A\sin\alpha\cos\alpha & x''y'' + A\sin & x''^2 + Q = \\ + C\sin^2\alpha & \quad - 2C\sin\alpha\cos\alpha & \quad + C\cos^2\alpha & \\ - B\sin\alpha\cos\alpha & \quad + B\cos^2\alpha & \quad + B\sin\alpha\cos\alpha & \\ & \quad - B\sin^2\alpha & & \end{array}$$

On pourra faire disparaître le terme en $x''y''$; car en posant $2(A - C)\sin\alpha\cos\alpha + B(\cos^2\alpha - \sin^2\alpha) = o$, on en tire:

$$\text{Tang. } 2\alpha = \frac{-B}{A - C}.$$

Ainsi dans les deux premiers cas, l'équation générale est de la forme $Mx^2 + Ny^2 + Q = o$.

Revenons sur le cas où le coefficient n du radical est zéro, ce qui revient à $B^2 = 4AC$; et portons dans la formule générale les formules de transformation de direction de ces données:

$x' = x'' \cos\alpha - y'' \sin\alpha$, et $y' = y'' \cos\alpha + x'' \sin\alpha$,

il arrive :

$$\begin{array}{l|l|l|l} A\cos^2\alpha & y''^2 + 2A\sin\alpha\cos\alpha & x''y'' + A\sin^2\alpha & x''^2 + Q = \\ + C\sin^2\alpha & \quad - 2C\sin\alpha\cos\alpha & \quad + C\cos^2\alpha & \\ - B\sin\alpha\cos\alpha & \quad + B\cos^2\alpha & \quad + B\sin\alpha\cos\alpha & \\ & \quad - B\sin^2\alpha & & \end{array}$$

équation que l'on peut écrire pour simplifier de la manière suivante :

$$A' y''^2 + B' x'' y'' + C' x''^2 + Q' = o;$$

or si l'on dispose de l'angle α de manière à pouvoir faire disparaître le terme en $x'' y''$, la relation $B'^2 - 4 A' C' = o$ nous apprend que l'un des coefficients A' ou C' disparaît aussi, de sorte que l'équation se présente sous la forme

$$M' y''^2 + N' y' + P x' + Q' = o.$$

Maintenant transportons les axes parallèlement à eux-mêmes, en posant $y'' = y''' + p$, $x'' = x''' + q$, nous aurons :

$$M' y'''^2 + (2 M' p + N') y''' + P x''' + (M' p^2 + N' p + P' q + Q') = o.$$

Ne pouvant détruire à la fois le terme en y''' et en x''', puisque P ne varie pas, on pose :

$$2 M' p + N' = o, \text{ et } M' p^2 + N' p + P' q + Q' = o,$$

ce qui réduit enfin l'équation à la forme

$$M' y'''^2 + P x''' = o.$$

DE L'ELLIPSE.

Nous avons vu que dans le cas où $B^2 - 4 A C$ est plus grand que zéro, l'équation générale du second degré peut se ramener à la forme

$$M x^2 + N y^2 + R = o.$$

En éliminant x et y entre cette équation et l'équation $y = a x$ d'une droite $P o P'$ passant par l'origine, on obtient des valeurs égales et des signes contraires, d'où il résulte que les deux longueurs $o P'$ et $o P$ sont égales; ainsi l'origine de ces données est le centre de la courbe puisqu'il divise en deux parties égales toutes les cordes passant par ce point (fig. 13).

Si l'on résout l'équation par rapport à x, par exemple, on trouve :

$$x \pm \sqrt{\frac{-R - N Y^2}{M}}.$$

On en conclut que pour une certaine valeur de y, on trouve pour x deux valeurs égales et de signes contraires; ainsi l'axe des Y divise en deux parties égales toutes les cordes parallèles à celui des x. On verrait de même que l'axe des X divise en deux parties égales toutes les cordes parallèles à l'axe des Y. Les deux lignes A A', B B', s'appellent les axes de la courbe; si nous les représentons par les lettres $2a$ et $2b$, nous aurons $a^2 = -\frac{R}{M}$, et $b^2 = -\frac{R}{N}$; et par suite l'équation deviendra :

$$a^2y^2 + b^2x^2 = a^2b^2.$$

Telle est l'équation de la courbe appelée ellipse rapportée à son centre et à ses axes.

Foyers. Directrices.

Si du point B comme centre on décrit un arc de cercle avec un rayon égal au demi grand axe a, cet arc coupera l'arc des x en deux points F F' symétriquement placés des deux côtés de l'axe des y. Ces points, appelés foyers, jouissent de plusieurs propriétés que nous allons examiner (fig. 14).

Appelons c la distance F' o ou son égale F' o, nous aurons $c^2 = a^2 - b^2$; cherchons la distance d'un point M situé sur la courbe à chacun des foyers, en désignant par x et y les coordonnées du point, nous aurons, à cause des triangles rectangles, M F' M' et M F M', les deux équations $ME' = \sqrt{y^2 + (c+x)^2}$ et $MF = \sqrt{y^2 + (x-c)^2}$; remplaçant y^2 par sa valeur tirée de l'équation de la courbe, il vient $MF' = a + \frac{cx}{a}$, $MF = a - \frac{cx}{a}$, d'où l'on tire $MF' + MF = 2a$. Ainsi, en appelant rayon vecteur toute droite partant d'un foyer et aboutissant à la courbe, on peut dire : la somme des deux rayons vecteurs, menés d'un même point de l'ellipse aux deux foyers, est constante.

Il est facile de voir maintenant que, pour décrire une ellipse d'un mouvement continu, il suffit de prendre un cordon, de l'attacher à deux points fixes F F', après l'avoir fait passer dans un anneau. En faisant glisser cet anneau sur un plan passant par les

deux points F' F, de manière à tendre le cordon, le chemin parcouru représentera une ellipse.

Après avoir pris la longueur o C égale à $\frac{a^2}{c}$, élevons une perpendiculaire C D ; ce sera une directrice de l'ellipse, c'est-à-dire que le rapport de la distance M F' à la longueur de la perpendiculaire M D, abaissée du point M sur la directrice, sera constant. En effet, on a $MF' : MD :: a + \frac{cx}{a} : x + \frac{a^2}{c} :: c : a$, l'autre directrice est située de l'autre côté de l'axe des y, et à une égale distance.

Tangentes normales.

L'équation d'une droite qui passe par deux points, dont les coordonnées sont x', y', x'', y'', est :

$$y - y' = \frac{y' - y''}{x' - x''}(x - x').$$

Si ces deux points sont sur l'ellipse, on a

$$a^2 y'^2 + b^2 x'^2 = a^2 b^2 \qquad a^2 y''^2 + b^2 x''^2 = a^2 b^2$$

d'où $a^2 (y'^2 - y''^2) + b^2 (x'^2 - x''^2) = o$, et par suite :

$$\frac{y' - y''}{x' - x''} = - \frac{b^2}{a^2} \frac{(x' + x'')}{(y' + y'')},$$

l'équation de la sécante est donc de la forme

$$y - y' = - \frac{b^2 (x' + x'')}{a^2 (y' + y'')} (x - x').$$

Si la sécante devient tangente, les points d'intersection se réuniront en un seul, on aura $x' = x''$, $y' = y''$, et l'équation de la tangente sera :

$$y - y' = - \frac{b^2 x'}{a^2 y'}(x - x'), \text{ ou bien}$$

$$a^2 y y' + b^2 x x' = a^2 b^2.$$

La tangente trigonométrique de l'angle que fait cette droite avec l'axe des x étant $x = -\frac{b^2 x'}{a^2 y^2}$, il en résulte que l'équation de la normale, passant par le même point, est :

$$y - y' = \frac{a^2 y'}{b^2 x'}(x - x').$$

En effet, $y = mx + n$ étant l'équation d'une droite P Q, m désigne la tangente de l'angle ω (fig. 15).

$Y = m'n + n'$ étant l'équation d'une droite P' Q', perpendiculaire à la première, on a $m' = \text{tang}\,\omega'$, et par suite est égal à $\cot\omega$; or $\text{tang}\,\omega \cot\omega = 1$; donc ici $mm' = -1$,

d'où l'on tire enfin $\frac{a^2 y'}{b^2 x'} = -\frac{1}{\frac{b^2 x'}{a^2 y'}}$

Diamètres.

Les formules pour passer d'un système de coordonnées rectangulaires à un système de coordonnées obliques sans changer l'origine sont :

$Y = x' \sin\alpha + y' \sin 6$ et $x = x' \cos\alpha + y' \cos 6$; en substituant dans l'équation de l'ellipse ces valeurs de x et de y, il vient :

$$\left.\begin{matrix} a^2\cos^2\alpha \\ + b^2\sin^2\alpha \end{matrix}\right| x'^2 + \left.\begin{matrix} a^2\cos^2 6 \\ + b^2\sin^2 6 \end{matrix}\right| y'^2 + \left.\begin{matrix} 2a^2\cos\alpha\cos 6 \\ + 2b^2\sin\alpha\sin 6 \end{matrix}\right| x'y' = a^2 b^2.$$

Pour faire disparaître le terme en xy, il faut égaler le coefficient $2a^2 \cos\alpha \cos 6 + 2 6^2 \sin\alpha \sin 6$ à zéro; d'où l'on tire $\text{tang}\,\alpha\ \text{tang}\,6 = -\frac{b^2}{a^2}$.

Au moyen de cette relation, on pourra donner à l'un des axes coordonnés telle direction qu'on voudra; on trouvera immédiatement celle de l'autre.

Toutes les fois que cette relation est satisfaite, la courbe est dite rapportée à ses diamètres conjugues, et son équation est de la forme :

$$a'^2 y'^2 + b'^2 x'^2 = a'^2 b'^2.$$

Cordes supplémentaires.

On appelle cordes snpplémentaires celles qui sont menées d'un même point de la courbe aux extrémités d'un même diamètre.

Soit $a^2 y^2 + b^2 x^2 = a^2 b^2$ l'équation d'une ellipse rapportée à ses axes rectangulaires.

Soit A A' un diamètre, menons d'un point B quelconque les cordes B A, B A', supplémentaires, appelons x', y' les coordonnées du point A'; celles de A' seront x', $-y'$; soient enfin x'', y'', celles du point B; l'équation de la droite B A' sera $y - y' = \frac{y'' - y'}{x'' - x'}(x - x')$;

celle de B A sera :

$$y + y' = \frac{y'' + y'}{x'' \pm x'}(x + x');$$

le produit $\left(\frac{y'' - y'}{x'' - x'}\right)\left(\frac{y'' + y'}{x'' + x'}\right)$ est égal à $-\frac{b^2}{a^2}$.

C'est là précisément la condition qui lie les directions des diamètres conjugués; d'où il résulte que deux diamètres, parallèles à deux cordes supplémentaires, sont conjugués.

DE L'HYPERBOLE.

L'équation générale du second degré dans le cas où $B^2 - 4AC < o$, peut se ramener à la forme,

$$M x^2 + N y^2 + R = o.$$

Il est nécessaire d'observer que M et N sont des signes différents. Alors, pour ne pas avoir à considérer de coefficient négatif, remplaçons N, par exemple, par un coefficient positif M' affecté du signe moins. Il viendra :

$$M x^2 - M' y^2 + R = o,$$

équation qui peut s'écrire sous la forme :

$$a^2 y^2 - b^2 x^2 = - a^2 b^2,$$

$$\text{en posant } \frac{R}{M} = a^2 \text{ et } \frac{R}{M'} = b^2.$$

L'étude de cette nouvelle courbe est tout-à-fait analogue à celle de la précédente.

En la résolvant par rapport à l'une des invariables, après avoir supposé l'autre nulle, on trouve $x = \pm a$ d'une part, et $y = \pm b \sqrt{-1}$, de l'autre; ainsi un des axes seulement coupe la courbe; il se nomme, à cause de cette propriété transverse,

FOYER, DIRECTRICE, TANGENTE, NORMALE, ETC.

La distance $F' o$ d'un foyer au centre est égale à $\sqrt{a^2 + b^2}$, on l'appelle ordinairement c; la différence $F' M - F M$ de deux rayons recteurs est égale à $2a$.

Il existe deux directrices comme pour l'ellipse.

Enfin. le calcul de la tangente de la normale, la détermination des diamètres conjugues, des cordes supplémentaires, etc., sont semblables à ceux de l'ellipse.

DES ASYMPTOTES.

Si, sans changer l'origine des coordonnées, on passe aux axes obliques, tels que l'on ait

$$\text{tang}\,\alpha = \frac{b}{a} \quad \text{tang}\,6 = -\frac{b}{a}$$

l'équation se réduit à $xy = K^2$.

Ces nouveaux axes prennent le nom d'asymptotes à cause de la propriété qu'ils ont d'aller en se rapprochant constamment de la courbe sans jamais la rencontrer.

Appelons $x' y'$, $x'' y''$, les coordonnées de deux points de l'hyperbole, l'équation de la sécante passant par ces points est

$$y - y' = \frac{y' - y''}{x' - x''}(x - x')$$

Mais $x' y' = k^2$ et $x'' y'' = k^2$ donc $\frac{y' - y''}{x' - x''} = -\frac{x' x''}{k^2}$

et en faisant $x' = x''$, $y' = y''$ la sécante devient tangente et l'ancienne équation

$$y - y' = -\frac{x' x''}{k^2}(x - x) \text{ devient } y - y' = -\frac{x'^2}{k^2}(x - x')$$

faisant (fig. 16) successivement $x = o$ et $y = o$, dans cette dernière on en déduit deux valeurs $y = y'$ $x = 2x'$ qui indiquent clairement que B M = A M

En menant une parallèle B' A' à la tangente il est facile d'établir que B' C = C A', car d'abord B' M' = M' A', de plus comme C C' est une corde parallèle à la tangente B A, le diamètre M'' O M M' qui passe par le point de contact touche cette corde en deux parties égales C M' et C M', ce qui établit que B C = A' C'.

DE LA PARABOLE.

Il nous reste à examiner la courbe représentée par la forme M' $y'''^2 + P x''' = o$; remplaçant y''' par y et x''' par x et $\frac{P}{M'}$ par $-2p$ il vient $y^2 = 2px$ qui représente l'équation de la parabole sous sa forme ordinaire et rapportée à son sommet.

Prenons $OF = OA = \frac{p}{2}$, et menons A B perpendiculaire au diamètre O X. Cette perpendiculaire sera la directrice, et F le foyer de la courbe.

Soit M un point de la courbe, x, y ses coordonnées, joignons M F et abaissons la perpendiculaire M N

$$\text{On a } MN = AO + OC = x + \frac{p}{2}$$

$$\overline{FM}^2 = y^2 + (x - \frac{p}{2})^2 = y^2 + x^2 - px + \frac{p^2}{4} = x^2 + px$$
$$+ \frac{p^2}{4} = (x + \frac{p}{2})^2, \text{ d'où l'on tire enfin } MN = FM.$$

L'équation de la tangente au point $x'y'$ est comme on peut le voir en partant de la sécante

$$yy' = p(x + x')$$

en posant $y = o$ il vient $x + x' = o$,

c'est-à-dire que l'on a toujours P' O = O P (fig. 17).

L'équation de la normale au point $x'y'$ est

$$y - y' = -\frac{y'}{p}(x - x')$$

En faisant $y = o$ il vient

$$y' = \frac{y'}{p}(x - x') \text{ donc } p + x' = x = QO$$

donc PQ ou la sous-normale $= p$.

L'équation $y^2 = 2px$ représente une courbe dont l'axe OX est évidemment un diamètre, puisqu'il divise en deux parties égales toutes les cordes parallèles à l'axe des y. En transportant l'origine en un autre point quelconque de la courbe, il serait facile d'établir que dans cette position le nouveau diamètre est parallèle au premier.

SIXIÈME PARTIE.

ÉLÉMENTS DE STATIQUE.

PRÉLIMINAIRES.

L'idée que nous avons des corps est telle que nous ne supposons pas qu'ils aient besoin de mouvement pour exister; ainsi, quoiqu'il n'y ait peut-être pas dans l'univers une seule molécule qui jouisse d'un repos absolu même dans un temps très court, nous ne concevons pas moins clairement qu'un corps peut exister en repos.

Mais si ce corps est une fois en repos, il y demeurera toujours, à moins qu'une cause étrangère ne vienne l'en tirer; cette cause, quelle qu'elle soit, qui ne nous est connue que par ses effets, nous l'appelons force ou puissance. La force est donc une cause quelconque de mouvement.

Sans connaître la force en elle-même, nous concevons très clairement qu'elle agit suivant une certaine direction et avec une certaine intensité. Ainsi nous regardons comme évident que toute force agit au point où elle est appliquée suivant une certaine direction et avec une certaine intensité.

Maintenant, si nous représentons les directions des forces par des lignes droites, et leurs intensités par des longueurs proportionnelles prises sur ces lignes ou par des nombres, il est clair que les forces pourront être soumises au calcul comme toutes les autres grandeurs, de là résulte le problème suivant dont la solution est l'objet de la mécanique.

Un corps ou système quelconque de corps étant sollicité par de certaines forces données, trouver le mouvement que ce corps prendra dans l'espace, et réciproquement quelles doivent être les relations des forces qui agissent sur un système, pour que ce système prenne dans l'espace un mouvement donné.

Pour résoudre ce problème, on commence par chercher quelles doivent être les relations des forces pour que le système

auquel elles sont appliquées prenne un mouvement égal à zéro, c'est-à-dire demeure en équilibre. Ce problème une fois résolu, il est facile d'y ramener l'autre, et voilà pourquoi l'on commence ordinairement l'étude de la mécanique par celle de la statique qu'on définit la science de l'équilibre des forces. L'autre partie de la mécanique traite de toutes les questions qui se rapportent au mouvement des corps, elle s'appelle dynamique ou science du mouvement.

Il n'est pas nécessaire de connaître l'effet actuel des forces sur la matière, c'est-à-dire les divers mouvements qu'elles sont capables de lui imprimer eu égard à leurs intensités et à leurs directions; mais il suffit de considérer les forces comme de simples grandeurs homogènes et par conséquent comparables, et de désigner les rapports qui doivent exister entre elles pour qu'elles se détruisent matériellement.

Rigoureusement parlant, un corps en équilibre est dans le même état que s'il était en repos; car l'effet des forces étant anéanti pour toujours ou s'anéantissant à chaque instant, si les forces sont sans cesse renaissantes, tout corps en équilibre est actuellement capable de se mouvoir en vertu d'une certaine force donnée, absolument comme il se serait mû en vertu de la même force s'il eût été en repos.

Ces notions préliminaires étant posées, voyons comment on peut procéder à la recherche des conditions d'équilibre pour un système quelconque de corps de figure invariable, sollicité par des forces quelconques, P, Q, R, S, etc., appliquées à des points donnés a, b, c, d, etc., du système.

On supposera d'abord que tous les corps sont sans pesanteur, c'est-à-dire tels qu'ils seraient s'ils existaient seuls dans l'espace, de sorte qu'il n'y aura plus à considérer que les efforts des seules forces appliquées P, Q, R, S, etc., qui devront se contrebalancer mutuellement dans le cas d'équilibre.

Ensuite il est facile de voir qu'il suffira de trouver les conditions de l'équilibre pour le simple système des points d'application a, b, c, d, etc., regardée comme un assemblage de points liés entre eux d'une manière invariable; en effet, si l'on désigne par a', b', c', d', etc., les mêmes points a, b, c, d, du système, mais considérés seulement comme des points unis par des droites rigides et inextensibles, et si l'on suppose que les forces P, Q, R, S, etc., les maintiennent en équilibre, il est évident que les mêmes forces P, Q, R, S, etc., maintien-

dront aussi le système en équilibre, car on pourrait imaginer que le système a été placé sur les points a', b', c', d', etc., de manière que les points a, b, c, d, coïncident actuellement avec eux; le système étant laissé en repos, dans cette situation l'équilibre des points a', b', c', d', ne sera pas troublé. Mais il est clair que l'équilibre subsisterait encore si, au lieu de supposer les points a et a', b et b', etc., coïncidents, on les supposait unis d'une manière invincible, de sorte que a ne pût se séparer de a', b de b', etc.; d'où il résulte que les conditions d'équilibre, entre des forces P, Q, R, etc., appliquées à un système quelconque de corps, sont les mêmes conditions qui auraient lieu entre les mêmes forces P, Q, R, etc., appliquées au simple système des points d'application a, b, c, etc., liés entre eux d'une manière invariable.

Maintenant, puisqu'il ne reste plus à considérer dans l'équilibre des forces que trois choses, savoir : leurs intensités, leurs directions et leurs points d'application, il est visible que les conditions de l'équilibre ne sont autre chose que les relations mutuelles qui doivent exister entre ces trois choses pour que l'équilibre ait lieu dans le système.

Pour découvrir la route qui doit conduire aux conditions d'équilibre, représentons-nous un corps ou système tenu en équilibre par des forces quelconques, P, Q, R, etc., dirigées comme on voudra dans l'espace.

Puisque toutes ces forces se font équilibre, on voit que l'une quelconque d'entre elles, la force P, par exemple, s'oppose seule à l'action de toutes les autres, Q, R, S, etc.; d'où il paraît que l'effet de ces dernières est de solliciter le système absolument comme une simple force égale contraire à la force P.

Donc puisqu'il peut arriver qu'une seule force soit capable de produire sur un corps le même effet que plusieurs et en tienne parfaitement lieu, le premier soin doit être de chercher à réduire les forces appliquées, au plus petit nombre possible, et d'observer la loi de cette réduction.

Cette force finale, capable de produire sur un corps le même effet que plusieurs autres combinées, se nomme la résultante, les autres se nomment les composantes. La loi d'après laquelle on substitue à une seule plusieurs forces capables du même effet, se nomme la composition des forces.

Nous désignerons les forces par les lettres P, Q, R, etc., placées sur les lignes qui représentent leurs directions, et si une

lettre telle que A indique le point d'application d'une force telle que P, par exemple, nous supposerons toujours que l'action de cette force a lieu de A vers la lettre P; si, pour représenter la quantité de cette force, on prend, sur sa direction et à partir du point A, une certaine ligne terminée AB, on supposera que cette ligne est portée du côté où le point d'application A tend à se mouvoir.

CHAPITRE PREMIER.

COMPOSITION ET DÉCOMPOSITION DES FORCES.

Il est évident que deux forces égales et contraires, appliquées à un même point, sont en équilibre.

Il est aussi évident que deux forces égales et contraires, appliquées aux extrémités d'une droite, considérée comme une verge invariable de longueur et agissante dans la direction de cette droite, sont en équilibre.

On en conclut que l'effet d'une force qui sollicite un corps ne peut être changé en quelque point de sa direction qu'on la suppose appliquée, pourvu que ce point soit un des points du corps lui-même, ou s'il est au-dehors, qu'il lui soit invariablement attaché.

Car, soit une force quelconque P (fig. 18), appliquée au point A d'un corps de système quelconque, si l'on prend sur la direction de cette force un autre point B, invariablement lié au système, de manière que la longueur AB reste toujours constante, et si l'on applique au point B deux forces P′ et — P′ égales entre elles et à la force P et agissantes dans la direction de AB, le point A sera encore sollicité de la même manière qu'auparavant, car l'effet des deux forces P′ et — P′ est nul de lui-même, mais en considérant la force P et son égale et contraire — P′ appliquée en B, il est manifeste que leur effet est aussi nul. On peut donc les supprimer et il ne reste plus que la force P′, qui n'est

autre chose que la force P, mais appliquée au point B de sa direction, et le point A n'a pas cessé d'être sollicité de la même manière.

On peut donc appliquer une force en un point quelconque de sa direction, pourvu que ce point soit lié au premier point d'application, par une droite rigide et inextensible.

Quand deux forces P et Q (fig. 19) sont appliquées au même point A, sous un angle quelconque, on conçoit bien qu'une troisième force R, appliquée convenablement au point A, pourrait faire équilibre aux deux forces P et Q; car, en vertu des efforts combinés des deux forces P et Q, le point A tend à quitter le lieu où il est, et il ne peut s'échapper que d'un seul côté, et par conséquent si l'on applique une force convenable en sens contraire, ce point demeurera un équilibre. La force R est égale et opposée à la résultante des deux autres, donc deux forces qui concourent ont une résultante.

Il est visible aussi qu'elle est dans le plan des deux forces A P, A Q; car il n'y a pas plus de raison pour qu'elle soit d'un côté de ce plan plutôt que de l'autre.

On admet comme axiome que quand plusieurs forces P, Q, R, etc., agissent dans le même sens et dans la même direction, ces forces s'ajoutent et donnent une résultante égale à leur somme $P + Q + R +$ etc.

On admet aussi que, quand plusieurs forces $P+Q+R+$ etc., tirent dans un sens, et que des forces $P' + Q' + R'$ etc., tirent dans une direction et dans un sens opposé, la résultante est égale à $(P + Q + R + \ldots) - (P' + C' + R' + \ldots)$, et s'exerce dans le sens de la plus grande de ces deux sommes.

COMPOSITION DES FORCES PARALLÈLES.

Théorème.

Si deux forces quelconques P et Q (fig. 20), parallèles et de même sens, sont appliquées aux extrémités A et B d'une droite rigide, je dis 1° que ces deux forces ont une résultante, et que cette résultante doit être appliquée à la ligne AB entre les deux points A et B; 2° que cette force est parallèle aux composantes P et Q, et égale à leur somme.

En effet, on peut appliquer aux deux points A et B deux forces M et N, égales et contraires, et qui agissent dans la même direction A et B. L'effet de ces deux forces sera nul, et par conséquent l'effet des deux forces P et Q ne sera pas changé ; mais les deux forces M et P, appliquées en A, ont une résultante, dirigée évidemment dans l'angle M A P. De même les deux forces N et Q ont une résultante T, appliquée en B, et dirigée dans l'angle N BQ. Concevez qu'on ait pris ces deux résultantes et qu'on les ait appliquées toutes deux au point D, où leurs directions vont nécessairement se couper, la résultante des deux forces S et T sera absolument la même que celle des deux forces P et Q. Or, étant appliquée en D et devant être dirigée dans l'angle A D B, elle ira passer, entre A et B, en un certain point C, où on pourra la supposer appliquée.

Maintenant il est visible que cette résultante est parallèle aux forces P et Q, et égale à leur somme; car, imaginons qu'on décompose en D la force S en deux M' et P', parallèles et égales à M et à P.

Qu'on décompose T en deux forces N', Q', égales et parallèles à N et à Q, les deux forces M' et N' se détruiront ; il ne restera plus qu'une force égale à P + Q, et parallèle à chacune d'elles.

Si les forces P et Q sont égales, il est évident que le point C sera sur le milieu de AB.

Il résulte de là que la résultante de tant de forces parallèles qu'on voudra égales deux à deux et appliquées symétriquement à des distances égales du milieu d'une même droite est égale à la somme de toutes ces forces, leur est parallèle et passe par le milieu de la droite d'application.

Réciproquement on peut décomposer toute force P, appliquée à une ligne, en tant d'autres forces qu'on voudra, pourvu que ces forces, prises deux à deux, soient égales et à égales distances du point d'application de la force R.

Théorème.

Le point d'application C (fig. 21) de la résultante de deux forces parallèles P et Q, qui agissent aux extrémités A et B d'une droite inflexible A B, partage cette droite dans la raison réciproque de P à Q, de sorte que l'on a

$$P : Q : BC : AC.$$

Supposons d'abord que les forces P et Q soient commensurables, c'est-à-dire soient entre elles comme deux nombres entiers m et n; divisons A B au point H en deux parties, directement proportionnelles aux deux forces P et Q, de manière qu'on ait A H : B H :: P : Q, et par conséquent :: m : n sur le prolongement de la ligne inflexible A B, prenons A G = A H, et B K = B H, le point A sera le milieu de G H, et le point B le milieu de H K.

Cela posé, puisque les forces P et Q sont entre elles comme les lignes A H et B H, elles seront aussi entre elles comme les lignes doublées, c'est-à-dire comme G H et H K; et comme il y a par hypothèse dans la ligne A H, m mesures telles que B H en contient n, il y aura $2m$ mesures dans G H, et $2n$ mesures égales dans H K. Or, on peut décomposer la force P en $2m$ forces égales et parallèles, appliquées aux $2m$ points milieux des communes mesures de la ligne G H, et la force Q en $2n$ forces parallèles, égales entre elles, et aux premières appliquées aux $2m$ points milieux des communes mesures de la ligne H K. Maintenant, toutes ces forces égales, étant équidistantes, se trouveront placées deux à deux à égales distances du milieu C de la ligne entière G K, et par conséquent leur résultante générale, qui est celle des deux forces P et Q, passera nécessairement par le milieu de la ligne G K.

Mais à cause de G C = A B, il vient, en retranchant la partie commune A C, B C = A G = A H, et en ajoutant de part et d'autre H C, A C = B H, donc puisque l'on a

$$P : Q :: AH : BH,$$

on a aussi

$$P : Q :: BC : AC.$$

Supposons, en second lieu, que les deux forces Q et P ne soient pas commensurables.

Je remarque d'abord que la résultante de deux forces quelconques P et Q (fig. 22), appliquée aux points A et B, tombe en C, la résultante de P et d'une force $Q + I > Q$ tombera entre le point C et le point B; c'est-à-dire que le point d'application de la résultante approchera du point d'application de la composante qui sera augmenté. En effet, pour trouver la résultante des deux composantes P et $Q + I$, on peut prendre d'abord la résultante R de P et Q, qui passe au point C par hypo-

thèse, et ensuite celle de R et I, dont le point d'application sera entre C et B.

Maintenant si la résultante des deux forces incommensurables (fig. 23) ne passe pas au point C, qui est tel qu'on a

$$P : Q :: BC : AC,$$

elle passera ailleurs. Supposons qu'elle passe en G..., partagez la ligne AB en parties égales, toutes plus petites que GC, il y aura au moins un point de division entre C et G, Soit I ce point, les deux lignes AI et BI seront commensurables, et le point I pourra être considéré comme le point d'application de la résultante des deux forces P et Q', qui seraient telles qu'on aurait

$$P : Q' :: BI : AI.$$

Ce qui donne $Q' > Q$, puisqu'on a par hypothèse

$$P : Q :: BC : AC;$$

mais la résultante des deux forces P et Q' passant en I, celle des deux forces P et $Q > Q'$ passera entre I et B, et ne pourra tomber en G contre l'hypothèse.

Il résulte de là que quand trois forces P, Q, R parallèles, appliquées à une droite et flexible, sont en équilibre, R est égale et opposée à la résultante de P et de Q; c'est-à-dire que

$$P + Q = R, \text{ d'où } Q = R - P.$$

Les deux forces P et Q étant données, ainsi que la distance AC qui sépare les points d'application, si l'on demande le point d'application de la résultante Q, on fera cette proportion

$$P : Q :: BC : AC,$$

d'où l'on tire

$$P + Q : Q :: BC + AC : AC;$$

c'est-à-dire

$$R : Q :: AB : AC,$$

proportion qui fera connaître AB, et, par conséquent, le point B.

Si les deux forces P et R sont égales, la résultante Q est nulle, et la distance $AB = \frac{R \times AC}{o}$, c'est-à-dire, infinie, expression qui indique que l'on ne peut trouver une force unique qui fasse équilibre à deux forces égales parallèles et de sens opposé.

De même que l'on compose en une seule deux forces parallèles qui agissent à des points donnés d'une ligne, on peut aussi décomposer une force R, appliquée en un point d'une droite inflexible, en deux autres qui lui soient parallèles, et qui soient appliquées à des points donnés.

Quand on sait trouver la résultante de deux forces parallèles, on peut trouver celle de tant de forces parallèles que l'on veut, et il est clair qu'elle est égale à l'excès de la somme de celles qui tirent dans un sens sur la somme de celles qui tirent dans l'autre.

COMPOSITION DES FORCES DONT LES DIRECTIONS CONCOURENT EN UN MÊME POINT.

Théorème.

La résultante de deux forces quelconques P et Q (fig. 24), appliquées à un même point A sous un angle quelconque, est dirigée suivant la diagonale du parallélogramme A B C D construit sur les lignes A B, A C, qui représentent les forces P et Q en grandeur et en direction.

Il est d'abord évident que la résultante des deux forces P et Q doit passer par le point A, et se trouver dans le plan de ces deux forces. Je dis de plus qu'elle doit passer au point D; prenons en effet sur le prolongement de la ligne B D la partie D G = D C, et achevons le losange C D G H; appliquons aux points G et H et dans la direction de G H deux forces Q' et Q'' contraires, égales entre elles et à la force Q. Il est facile de voir que la résultante des quatre forces P, Q, Q' et Q'' doit passer au point D; car puisque $Q' = Q$, les deux forces parallèles P et Q' sont entre elles comme les côtés A B, A C, ou comme D C et D B, ou bien, à cause de D C = D G, comme les lignes D G et D B, et par conséquent leur résultante S passe en D. Les deux forces Q et Q'' étant égales, leur résultante T prolongée divise en deux également l'angle C H G du losange C D G H, et va passer aussi par le point D, où l'on peut la supposer appliquée. Donc la résultante générale qui est celle des deux forces S et T passe au point D.

Mais les deux forces Q' et Q'', appliquées sur G H, étant égales

et contraires, leur effet est nul, et la résistance des quatre forces P, Q, Q', Q'', est identiquement la même que celle des deux forces P et Q; donc puisque la première passe en D, celle des deux forces P et Q passe aussi au même point.

Puisque la résultante passe à la fois par les deux points A et D, elle est dirigée suivant la diagonale.

On en conclut que si l'on connaissait seulement les directions de deux forces P, Q, et celle de leur résultante R, on pourrait déterminer le rapport de P à Q. Car en prenant sur la direction de la résultante un point quelconque D, et menant deux parallèles DC et DB aux directions des composantes P et Q, et qui rencontrent ces directions en C et B, on aurait :

$$P : Q :: AB : AC.$$

Théorème.

La résultante de deux forces quelconques P et Q, appliquées à un même point A, est représentée en grandeur et en direction par la diagonale du parallélogramme ABDC construit sur les deux lignes AB, AC, qui représentent ces forces en grandeur et en direction.

Soit R cette résultante : supposez qu'elle soit appliquée au point A sur le prolongement de la diagonale DA, en sens contraire de son action. Les trois forces P, Q, R, seront en équilibre sur le point A; donc l'une d'elles Q, par exemple, sera égale et opposée à la résultante des deux forces P et R. Donc si du point B vous menez à la direction AR la parallèle BG qui rencontre en G le prolongement de QA, et du point G, à la direction AP, la parallèle GH qui rencontre en H la direction de la force R, les deux forces P et R seront entre elles comme les côtés AB et AH du parallélogramme ABGH. Mais la ligne AB représente la force P; donc AH représente la force R. Or par les parallèles on a : AH = BG = AD; donc, etc.

Puisque que les trois forces P, Q, R, sont entre elles comme les trois lignes AB, AC, AD, et que dans le parallélogramme ABDC, on a : AB = CD. On peut dire que ces trois forces sont entre elles comme les trois côtés CD, CA et AD, du triangle ACD : mais ces trois côtés sont entre eux comme les sinus des angles opposés CAD, CDA, ACD; donc

$$P : Q : R :: \sin CAD : \sin BAD : \sin BAC.$$

Ce qui indique que chacune des forces P, Q, R, est comme le sinus de l'angle formé par les directions des deux autres.

On peut toujours décomposer une force donnée R en deux autres P et Q dirigées suivant des lignes données AP, AQ, pourvu que ces deux lignes et la force soient dans un même plan, et concourent en un même point A.

Pour calculer les grandeurs des composantes, on fait les deux proportions :

$$R : P :: \sin BAC : \sin CAD,$$
$$R : Q :: \sin BAC : \sin BAD,$$

dans lesquelles il n'y a que P et G d'inconnues.

Si l'angle BAC était droit, en supposant le rayon $= 1$, $\sin BAC = 1$, $\sin CAD = \cos BAD$, les deux proportions deviennent :

$$R : P :: 1 : \cos BAD,$$
$$R : Q :: 1 : \cos CAD;$$

d'où $P = R \cos BAD$, $Q = R \cos CAD$.

Quand on sait déterminer la résultante de deux forces appliquées à un point, on peut déterminer celle de tant de forces P, Q, R, S, etc., qu'on voudra; car il suffit de chercher la résultante de deux quelconques, de chercher la résultante de cette résultante avec une autre force et ainsi de suite.

Si toutes les forces sont dans un même plan, la résultante générale y sera aussi.

CHAPITRE II.

DES CENTRES DE GRAVITÉ.

On nomme pesanteur ou gravité cette cause inconnue qui fait descendre les corps vers la terre quand ils sont abandonnés à eux-mêmes. La pesanteur étant une cause de mouvement, on peut la considérer comme une force; cette force pénètre les parties

les plus intimes des corps, et agit également sur toutes leurs molécules; car l'expérience prouve que, dans le vide, des corps quelconques de masses inégales, une balle de plomb et une plume tombent de la même hauteur avec la même vitesse; d'où l'on doit conclure que les molécules d'un corps qui tombe descendent toutes de la même manière que si elles étaient contiguës sans être liées les unes aux autres. Ainsi l'action de la pesanteur s'exerce sur toutes les molécules d'un corps, et se fait sentir également à chacune d'elles.

Cependant la pesanteur varie un peu du pôle à l'équateur, et avec la distance au centre de la terre; mais en statique les corps que nous considérons étant ordinairement d'un volume peu considérable, on regarde les variations de la pesanteur d'un point à un autre de ce corps comme insensibles. On considère donc la pesanteur comme une force constante dont la direction est représentée par celle d'un fil à plomb en équilibre; cette direction dans le lieu que l'on considère se nomme la verticale; tout plan perpendiculaire à la verticale se nomme plan horizontal.

Nous concluons de ce qui précède que la résultante de toutes les forces parallèles de la pesanteur leur est parallèle, c'est-à-dire est verticale. En second lieu, qu'elle est égale à leur somme; la quantité de cette résultante est ce que l'on nomme le poids du corps; d'où l'on voit que le poids d'un corps est proportionnel au nombre des molécules qui le composent, ou à la quantité de matière qu'il renferme, et que l'on nomme sa masse; ainsi on distinguera le mot pesanteur ou gravité d'avec celui de poids.

Nous avons vu que quand deux forces parallèles sont appliquées à une même droite, le point où la résultante coupe cette droite est indépendant de la direction des forces parallèles; il en est évidemment de même pour tant de forces parallèles que l'on veut. Ce point, par où passe la résultante de toutes les différentes forces parallèles qui sollicitent un corps à tomber en vertu de la pesanteur, est ce que l'on appelle le centre de gravité du corps.

Si le centre de gravité d'un corps est fixe, il est clair que ce corps sera en équilibre autour de lui dans toutes les situations; car, dans toutes ces positions, la résultante des forces de la pesanteur passera toujours par le même point fixe, et son effet sera détruit.

La position du centre de gravité dans un corps ne dépend que de deux choses: 1° de la figure du corps; 2° de la densité relative de ses différentes parties. On voit bien en effet que si la figure et

le volume restent les mêmes, les molécules viennent à s'écarter dans une certaine partie du corps, de manière qu'elles se rapprochent davantage dans une autre; les forces qui agissent sur elles n'étant pas réparties de la même manière, la position de la résultante générale changera, et par conséquent celle du centre de gravité du corps. Ainsi, dans la détermination de ce point, il faudrait avoir égard, non seulement à la figure du corps, mais encore à la loi suivant laquelle la densité varie dans toute son étendue. Mais si, pour résoudre plus simplement la question, on suppose d'abord les corps parfaitement homogènes, ou uniformément denses en tous les points, la position du centre de gravité ne dépendra plus que de la figure, et la recherche des centres de gravité deviendra un simple problème de géométrie. C'est dans cette hypothèse de corps parfaitement homogènes, que l'on détermine ordinairement les centres de gravité des lignes, des surfaces et des solides qui sont soumis à une description rigoureuse, et que l'on regarde comme doués d'une pesanteur uniforme en tous leurs points.

CENTRES DE GRAVITÉ DES FIGURES.

Toute figure dans laquelle il se trouve un point tel qu'un plan quelconque, mené par ce point, coupe la figure en deux parties parfaitement symétriques, a son centre de gravité en ce point qu'on appelle centre de figure.

En effet, si l'on fait passer un plan quelconque par le centre de la figure, comme ce plan la coupe en deux parties symétriques, il n'y a pas de raison pour que le centre de gravité qui est un point unique se trouve d'un côté de ce plan plutôt que de l'autre; le centre de gravité devant donc se trouver à la fois dans tous les plans que l'on pourrait conduire par le centre de figure sera en ce point même, qui est la commune intersection de tous ces plans.

Il en résulte que le centre de gravité d'une ligne droite est à son milieu; que celui d'un parallélogramme est à l'intersection de ses diagonales; que celui d'un parallélipipède est à l'intersection de ses diagonales; que celui d'une sphère est à son centre, etc.

CENTRE DE GRAVITÉ DU TRIANGLE.

Soit B A C (fig. 25) le triangle donné; considérons la surface comme composée d'une infinité de tranches parallèles à la base BC; il est visible que la ligne droite A D, menée du sommet A au milieu D de la base, divisera toutes ces tranches en deux parties égales, leurs centres de gravité respectifs seront donc tous sur la droite A D et par conséquent celui de leur système; par le même raisonnement on fait voir qu'il se trouve aussi sur BE; le centre de gravité se trouve donc à l'intersection G.

Mais puisque D et E sont les milieux respectifs des côtés CA, CB, la droite DE sera parallèle à A B et en sera la moitié; donc G D est le tiers de A D et A G en est les deux tiers.

CENTRE DE GRAVITÉ DE LA PYRAMIDE.

Soit A B C D (fig. 26) la pyramide, si nous considérons cette pyramide composée d'une infinité de tranches parallèles à la base B C D, il est visible qu'une droite menée de l'angle A en un point quelconque de la base, couperait toutes ces tranches et la base en deux points semblablement placés; donc si cette droite est menée au centre de gravité I de la base, elle passera par tous les centres de gravité des tranches parallèles, le centre de gravité de la pyramide se trouve donc sur A I.

On démontrerait de même qu'il se trouve sur C H; or ces deux droites se coupent en G, donc G est le centre de gravité de la pyramide; et comme H I est parallèle à A C, on a :

$$HI : AC :: EH : EA :: 1 : 3.$$

$$\text{Mais } HI : GI :: AC : AG,$$

$$\text{donc } GI = \frac{1}{4} AI.$$

CHAPITRE III.

DES MACHINES.

On appelle machine tout instrument destiné à transmettre l'action d'une force déterminée à un point qui ne se trouve pas sur sa direction, de manière que cette force puisse mouvoir un corps auquel elle n'est pas immédiatement appliquée, et le mouvoir suivant une direction différente de la sienne propre.

On ne peut, en général, changer la direction d'une force qu'en décomposant cette force en deux autres, dont l'une soit dirigée vers un point fixe qui la détruise par sa résistance, et dont l'autre agisse suivant la nouvelle direction; cette dernière force, qui est la seule qui puisse produire quelque effet, est toujours une composante de la première, et suivant les circonstances elle peut être plus petite ou plus grande qu'elle. En changeant de cette manière les directions et les grandeurs des forces, on peut donc, à l'aide d'une machine et des points d'appui qu'elle présente, mettre en équilibre deux forces inégales et qui ne sont pas directement opposées.

La force dont on a pour objet de changer la direction en employant une machine, s'appelle puissance; on donne le nom de résistance au corps qu'elle doit mouvoir, ou à la force à laquelle elle doit faire équilibre au moyen de la machine.

On se propose seulement ici de trouver les rapports que doivent avoir entre elles la puissance et la résistance appliquées à la même machine, pour que, eu égard à leur direction, elles soient en équilibre; nous ferons abstraction du frottement et nous supposerons que les cordes, quand il en entrera dans la composition de la machine, soient parfaitement flexibles.

Quoique le nombre des machines soit très grand, on peut les regarder toutes comme composées de trois machines simples, qui sont les cordes, le levier et le plan incliné.

Équilibre des forces agissant les unes sur les autres par le moyen des cordons (fig. 27).

Nous supposons les cordes sans pesanteur, nous les regardons comme des lignes droites flexibles et inextensibles. Considérons le cas d'équilibre entre trois forces, P, Q, R, agissant les unes sur les autres au moyen de trois cordes réunies par le nœud A.

Les trois forces P, Q, R, doivent être dans un même plan.

Si l'on représente les deux forces P, Q, par les lignes AC, AD, en construisant le parallélogramme BDAC, la diagonale représentera la grandeur et la direction de la résultante R qui lui est opposée.

Ainsi il existe, entre les forces P, Q, R, les proportions :

$$P : Q : R :: \sin QAR : \sin PAR : \sin PAQ.$$

Ce que nous venons d'établir pour trois cordons, peut s'établir pour un nombre quelconque; il est clair, en effet, qu'en prenant les cordons trois à trois, nous devrons, pour chacun de ce système, retrouver des équations analogues aux précédentes.

Si l'on représente l'état d'équilibre du système (fig. 28) par le polygone ABC etc., il devra y avoir équilibre entre les forces T, P, et la tension du cordon AB; entre la tension du cordon AB, celle du cordon BC et la force Q, etc., ce qui nous donnera les équations suivantes.

$$T : P : \text{tens } AB :: \sin PAB : \sin TAB : TAP.$$
$$\text{Tens } AB : Q : \text{tens } BC :: \sin QBC : \sin ABC : \sin QAB.$$

Si l'on suppose que le cordon AP soit attaché en A par un nœud coulant, il est évident que la tension de AB sera égale à la force T, et par suite les angles TAP, PAB, seront égaux.

Du plan incliné.

Supposons (fig. 29) un corps pesant placé sur un plan incliné et tiré par une force dont la direction rencontre la verticale passant par le centre de gravité du corps, il s'agit de trouver les conditions de l'équilibre. Nous pouvons décomposer la force P en deux, l'une perpendiculaire et l'autre parallèle au plan incliné; nous pouvons faire la même décomposition pour le poids du corps: les forces normales au plan devront être telles que la plus grande des deux tende à appuyer le corps sur le

plan, et de plus la résultante devra se trouver dans l'intérieur de la circonférence de contact du corps sur le plan incliné. De plus, les deux composantes parallèles $P \cos \omega$ et $G \sin \alpha$ devront être égales et dirigées en sens contraires; α désigne l'angle que la force P fait avec le plan incliné.

Du levier (fig. 30).

Le levier est une verge inflexible ACB, droite ou courbe, mobile, autour d'un de ses points C rendu fixe, qu'on appelle le point d'appui.

On suppose le levier sans pesanteur, on suppose de plus qu'il ne peut glisser autour du point C. Soient P et Q deux puissances appliquées à ses extrémités. On considère la résistance du point d'appui comme une troisième force R appliquée au levier dans ce même point. Les deux forces P et Q sont supposées dans un même plan passant par le point d'appui; donc ces forces P et Q se rencontrent en un certain point D où l'on peut supposer qu'elles sont appliquées, la résultante de ces deux forces doit donc passer par le point D; or comme le système est en équilibre, il faut nécessairement que la résultante soit détruite par le point fixe C, donc la résultante passe par le point fixe, ainsi on a la proportion

$$P : Q :: \sin CDQ : \sin CDP.$$

Mais si l'on abaisse du point C deux perpendiculaires CF, CE, sur la direction des forces, on a :

$$CE : CF :: \sin CDP : \sin CDQ.$$

Donc $P : Q :: CF : CE$; donc pour l'équilibre du levier on doit avoir l'équation

$$P \times CE = Q \times CF.$$

Chacun de ces produits s'appelle moment d'une force par rapport à un point fixe.

Si les forces P et Q étaient parallèles, leur résultante devrait satisfaire à la même condition, et dans ce cas la charge du point d'appui serait égale à $P + Q$, tandis que dans le cas précédent elle est égale à la résultante de deux forces P et Q, ou à $\sqrt{P^2 + Q^2 + 2PQ \cos PDQ}$.

Des poulies et des moufles.

Une poulie est une roue creusée en gorge à sa circonférence pour recevoir une corde, et traversée à son centre par un axe sur lequel elle peut tourner.

Si l'on suppose que la poulie tourne sans frottement autour de son axe G, il est clair, dis-je, que les deux forces P et Q, appliquées aux extrémités de la corde, devront être égales; il est aussi évident que la charge R sera égale à la somme des deux poids P et Q.

Si les deux extrémités P, Q, n'étaient pas parallèles, elles feraient en ce cas des angles égaux avec la direction de la résultante R, qui dans ce cas ne serait plus égale à leur somme (fig. 31).

Une moufle est un système de plusieurs poulies assemblées dans la même chappe, ou sur des axes particuliers, ou sur le même axe. Nous supposons (fig. 32) les cordons des moufles parallèles entre eux, et nous ferons abstraction du poids de la machine; soit Q une puissance en équilibre avec la résistance P suspendue à la chappe du moufle mobile; l'équilibre ne peut pas exister pour toute la machine, qu'il n'ait lieu pour chaque poulie en particulier, et que les différentes parties de la corde, qui embrassent cette poulie, ne soient également tendues. Ainsi tous les cordons sont également tendus; or, comme la somme de ces tensions fait équilibre à la résistance P, la tension des cordons, multipliée par leur nombre, est égale à sa résistance; donc la tension d'un des cordons ou la puissance Q est le quotient de la résistance P divisée par le nombre des cordons qui vont d'un moufle à l'autre. Si donc il y a n cordons, la condition de l'équilibre est $nQ = P$.

Du tour.

Le tour ou cabestan est une machine composée d'un cylindre mobile sur son axe et d'une corde qui, s'enveloppant par une de ses extrémités autour du cylindre, pendant qu'une puissance Q le fait tourner, entraîne une résistance P attachée à son autre extrémité. Le cylindre est garni à ses deux bases de tourillons A, B, qui portent sur des appuis, et au moyen desquels il peut tourner plus librement (fig. 33).

Appelons R le rayon de la gorge autour de laquelle s'enroule la corde qui est sollicitée par la puissance, r celui de la résistance.

La condition d'équilibre est exprimée par l'équation $Pr = QR$.

Car la résistance P peut évidemment être supposée située dans le plan de la force Q et perpendiculaire à l'axe de la machine. Dans ce nouvel état on a évidemment affaire à un levier dont le point d'appui est situé sur l'axe et les perpendiculaires, abaissées sur les forces sont précisément R et r.

SEPTIÈME PARTIE.

PHYSIQUE.

CHAPITRE PREMIER.

PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DES CORPS.

§ Ier. — *Étendue, impénétrabilité, porosité, divisibilité. Corps solides, liquides, gazeux.*

L'étendue est la propriété dont jouit tout corps d'occuper une certaine partie de l'espace ou un certain volume. Quand ce volume est compris sous des formes géométriques, on peut l'évaluer au moyen de certaines longueurs que l'on considère dans la configuration extérieure des corps. Pour évaluer une certaine longueur, l'opération consiste à porter sur cette longueur l'unité linéaire autant de fois qu'elle peut y être contenue; mais à moins que cette unité n'y soit comprise un nombre exact de fois, il faut, ou négliger la fraction restante, ou subdiviser l'unité pour apprécier cette fraction; aussi a-t-on subdivisé le mètre en décimètres, centimètres et millimètres; mais ce mode de subdivision ne pouvant être poussé plus loin, on emploie un moyen plus précis; voici en quoi il consiste : supposons que la règle qui sert à mesurer les longueurs soit divisée en millimètres, et que l'on porte sur une autre règle 9 millimètres dont on divisera l'ensemble en 10 parties égales; chacune des divisions de cette nouvelle règle sera de $\frac{9}{10}$ de millimètre. Si donc on porte la petite règle sur la grande, de manière que deux de leurs traits de division coïncident en A, il n'y aura de nouveau coincidence qu'à la 9e division de la grande règle, à partir de

A; les traits intermédiaires seront en avant de ceux du même ordre sur la petite règle, le premier de $\frac{1}{10}$ de millimètre, le second de $\frac{2}{10}$ de millimètre, etc.; enfin le n^e trait de division intermédiaire de la grande règle sera écarté du n^e trait de la petite, de n dixième de millimètre (fig. 1).

On conçoit facilement, d'après cela, que pour évaluer une longueur donnée, à un dixième de millimètre près, il suffira de porter la grande règle sur cette longueur, ce qui donnera d'abord le nombre entier N de millimètres qu'elle contient, de placer ensuite le zéro de la petite règle à l'extrémité même de la longueur proposée, de compter enfin le nombre n de ses divisions qui sépare ce point de celui où l'un de ses traits paraît coïncider avec un des traits de la grande règle. La longueur cherchée sera alors $N + \frac{n}{10}$ millimètres, à moins d'un dixième de millimètre d'erreur; la petite règle dont il s'agit porte le nom de vernier.

La seconde propriété générale de la matière, essentielle à son existence, est l'impénétrabilité qui s'oppose à ce que tout autre corps puisse pénétrer dans le lieu qu'elle occupe. Il y a des corps dont le mélange paraît occuper un volume moindre que la somme de leurs volumes primitifs, ce qui semblerait indiquer une pénétration. Par exemple, dans un tube long et étroit, fermé par un bout, on verse d'abord de l'eau, puis on le remplit avec de l'alcool, bouchant ensuite ce tube avec le doigt on le retourne à plusieurs reprises pour opérer le mélange des deux liquides, et on remarque une diminution très sensible du volume total; mais ce fait et d'autres semblables ne prouvent pas que la matière soit pénétrable, ils résultent de ce que les corps sont réellement formés de parties matérielles qui ne se touchent pas et dont les intervalles peuvent être occupés par d'autre matière. La dilatation des corps par la chaleur et l'augmentation considérable de volume qu'une matière liquide paraît subir lorsqu'elle se transforme en fluide élastique, prouvent que les corps sont ainsi composés.

Outre les propriétés générales dont nous avons parlé, les corps en possèdent d'autres; telle est la porosité. Ainsi une peau laisse échapper par ses pores du mercure qu'elle contient quand on la comprime suffisamment. On peut par la pression ou

par tout autre moyen manifester l'existence de l'eau dans les pores de certains bois. Les substances minérales même ont des pores. Quand on plonge dans l'eau une pierre connue sous le nom d'hydrophane, on voit se dégager des bulles d'air qu'elle contient et que l'eau remplace dans des cavités invisibles.

La divisibilité ou la propriété dont jouissent tous les corps de pouvoir être subdivisés en parties très petites, est encore regardée comme une propriété générale, mais non essentielle de la matière. On peut citer un grand nombre d'exemples de divisibilité. Un grain de carmin quantité de matière colorante à peine visible, communique sa couleur à une quantité d'eau dix millions de fois plus grande, et peut par conséquent se diviser en plus de dix millions de parties. Une petite portion de musc peut fournir des particules odorantes à l'air qui se renouvelle autour d'elle pendant plusieurs années; il est évident que si l'on pouvait isoler une de ces particules, elle serait plus petite que ce qui peut être soumis à notre observation.

Tous les corps se présentent à nous sous l'un des trois états, solide, liquide ou gazeux. L'état solide ne peut exister dans un corps que quand l'action répulsive du calorique est assez diminuée pour faire équilibre à l'action attractive des particules sans le secours d'aucune force étrangère. En général, les corps solides sont faiblement compressibles et se dilatent peu par la chaleur.

L'état liquide diffère de l'état solide en ce que tout corps qui est à cet état peut se déformer par la moindre pression. On sait en effet qu'un liquide versé dans un vase prend la forme du vase qu'il occupe. La pression a peu d'influence sur le volume d'un liquide, on regarde même les liquides comme incompressibles quoique dans la réalité ils le soient. L'état liquide est l'état intermédiaire entre l'état solide et l'état gazeux. Un corps solide fortement chauffé devient ordinairement liquide; et ce même corps liquide, chauffé davantage, devient gazeux. Dans ce passage le volume apparent des corps augmente en général dans une très grande proportion. Il occupe alors uniformément tout l'espacement qui lui est offert, quelque étendu qu'il soit, et ne peut être maintenu dans un espace limité qu'en exerçant sur lui des pressions extérieures ou en le coërçant entre des parois solides.

§ II — *Inertie, mobilité, forces, composition des forces, considérations générales sur l'équilibre et le mouvement, mouvement uniforme, vitesse, mouvement uniformément varié, vitesse, mouvement relatif, mouvement absolu, quantités de mouvement, communication du mouvement entre des masses non élastiques.*

La mobilité et l'inertie sont deux propriétés générales des corps corrélatives l'une de l'autre. On entend par la première qu'un corps peut être conçu en mouvement ou en repos; par la seconde, que lorsqu'il passe de l'un à l'autre de ces états, ce changement est l'effet d'une cause étrangère, et ne peut jamais être produit par la matière elle même Cette cause, quelle qu'elle soit, nous l'appelons force. Ainsi une force est une cause quelconque du mouvement, quand un corps est un mouvement il peut l'être en vertu de plusieurs forces, et dans certains cas une force unique peut produire sur le corps le même mouvement qu'un système de forces, et alors on dit que les forces peuvent se composer en une. Les forces peuvent quelquefois être disposées de telle manière que le corps reste en repos. Dans ce cas, on dit qu'il y a équilibre entre les forces qui agissent sur le système. Pour avoir de plus grands développements sur la composition des forces et sur l'équilibre, il est nécessaire d'avoir recours aux éléments de statique.

Quant une force agit sur un corps, elle exerce son action, ou dans un temps inappréciable, ou constamment et d'une manière continue. Dans le premier cas, la force est dite instantanée, elle communique alors au mobile un genre de mouvement que l'on appelle uniforme, et qui est tel que le corps parcourt le même espace dans le même temps. On donne le nom de vitesse au rapport de l'espace parcouru, divisé par le temps employé, ou, en d'autres termes, à l'espace parcouru dans l'unité du temps. Une force instantanée ne peut imprimer qu'un mouvement rectiligne, car, en vertu de l'inertie, le corps lancé en ligne droite ne saurait par lui-même s'en écarter. Dans un mouvement il faut considérer trois choses, la vitesse, l'espace et le temps. Si e est le rapport de l'espace parcouru à l'unité de longueur, t celui du temps employé à l'unité du temps, la vitesse v sera d'après sa définition égale à $\frac{e}{t}$, donc $e = v\,t$, ce qui indique que l'espace

est égal à la vitesse multipliée par le temps employé à le parcourir.

Quand une force agit sur un corps d'une manière continue, elle peut avoir une intensité constante ou une intensité variable. Dans le premier cas elle communique un mouvement uniformément varié, et il est facile de voir qu'alors la vitesse croît proportionnellement au temps. Pour cela, on peut admettre que la force, au lieu d'être continue, soit décomposée en une série d'impulsions successives et très rapprochées, ou bien le temps étant partagé en instants infiniment petits, égaux entre eux, on peut supposer que la force agisse au commencement de chacun de ces instants pour communiquer au mobile une plus grande vitesse, et l'abandonne ensuite jusqu'au commencement de l'instant suivant. La force accélératrice étant constante, les impulsions successives auront toutes la même intensité, et conséquemment les accroissements de vitesse seront égaux ; la vitesse totale ou la somme de ces accroissements sera donc proportionnelle au temps. La terre tourne tous les jours sur son axe entraînant avec elle dans son mouvement de rotation tous les objets qui sont à sa surface. Cependant ces objets paraissent en repos à un observateur, et cela tient à ce que lui-même est emporté comme les objets qui l'environnent; ainsi, plusieurs corps peuvent être en repos l'un vis-à-vis de l'autre, et cependant être en mouvement. Il faut donc distinguer le repos apparent du repos absolu. Il en est de même de l'etat de mouvement. Le mouvement apparent diffère du mouvement absolu en ce que par l'effet d'une illusion on transporte dans l'objet en repos le mouvement auquel on est soi-même soumis; ainsi, en supposant la terre en repos, une personne qui voyage dans un bateau croît voir avancer ou reculer le rivage, et croît elle-même être en repos. Il est bien évident que dans ce cas le mouvement observé n'est qu'apparent. Quand un corps vient en frapper un autre, l'effet qu'il produit dépend évidemment de sa vitesse, il dépend encore de la masse du corps choquant, de sorte que si M représente la masse, V sa vitesse, sa quantité de mouvement devra être représentée par MV, et le corps choqué devra éprouver des modifications qui dépendront de ce produit. Si M' est la masse du corps choqué, supposé en repos et complétement mou, c'est-à-dire dépourvu d'élasticité. La quantité de mouvement après le choc sera la même qu'avant, de sorte que si V' représente la vitesse que ces corps prendront

en voyageant ensemble, on aura l'équation $(M+M')\,V' = MV$, donc $V' = \frac{MV}{M+M'}$.

Si le corps choqué est lui-même en mouvement, il faudra examiner le cas où il se meut dans le même sens que le corps choquant, ou en sens contraire. Alors dans ces deux cas il est visible que l'équation précédente se changera en celle-ci $(M+M')\,V' = MV \pm M'V''$, donc $V' = \frac{MV \pm M'V''}{M+M'}$.

Le signe plus correspondant au premier cas, et le signe moins au second.

CHAPITRE II.

PESANTEUR.

§ III. — *Direction de la pesanteur, lois de la chute des corps, démontrée par le plan incliné et par la machine d'Atwood.*

La pesanteur est une des forces accélératrices de la nature; elle produit un mouvement varié dont les lois sont établies par l'expérience. Comme nous le ferons voir plus tard, la terre étant supposée sphérique et homogène, la pesanteur tend à diriger tous les corps qu'on laisse tomber vers le centre de la terre. Le fil à plomb est aussi dirigé vers ce centre ; on appelle verticale la direction du fil à plomb, ou la ligne que parcourt un corps abandonné à son propre poids.

L'observation indique que certains corps ne tombent pas aussi vite que d'autres. Un morceau de liége tombe moins vite qu'un morceau de plomb, ce qui tendrait à faire croire que la pesanteur n'agit pas de la même manière sur tous les corps; cependant son action est la même sur tous les corps, quelle que soit leur nature, pourvu qu'ils soient placés à peu près dans le même lieu ; ainsi, à Paris, par exemple, la pesanteur agit sur du plomb comme sur du liége.

Si une plume tombe plus lentement qu'un morceau de métal, c'est que l'air retarde plus la chute de la plume que celle du métal; aussi en plaçant dans un tube en verre et vide d'air plusieurs corps hétérogenes, on remarque que ces corps tombent avec la même vitesse quand on vient à retourner le tube.

Pour déterminer la loi du mouvement imprimé par la pesanteur aux différents corps, on peut faire tomber ces corps non suivant la verticale, mais sur un plan incliné; si α represente l'angle que ce plan fait avec la verticale, et g l'intensité de la pesanteur s'exerçant sur l'unité de masse, $g \sin \alpha$ sera la composante de cette force normale au plan, et par conséquent détruite par la résistance du plan supposé fixe; $g \cos \alpha$ sera la composante dirigée suivant l'inclinaison, ce sera à elle que le mobile obéira; l'angle α étant constant, elle sera constante si la pesanteur l'est et réciproquement. Or, on peut rendre α assez grand, $g \cos \alpha$ assez petit pour que l'on puisse observer les lois du mouvement d'un corps tombant sur le plan incliné.

Ce moyen d'étudier l'action de la pesanteur est défectueux à cause du frottement du mobile sur le plan, il est préférable de se servir de la machine d'Atwood; quand deux masses égales m, m' sont suspendues aux deux extrémités d'un fil assez fin pour qu'on puisse négliger son poids, et enroulé dans la gorge d'une poulie très mobile, elles restent en équilibre; mais si ces masses sont différentes, la plus grande cédera à l'action de la pesanteur, entraînant dans son mouvement la plus petite masse qui sera soulevée en vertu de la liaison du système; on pourra considérer la différence des masses comme la seule partie sur laquelle agisse la pesanteur, les actions sur le reste se détruisant, soit g' la force accélératrice constante du mouvement ralenti qui aura lieu, g représentant toujours la pesanteur, on aura évidemment $g'(m+n) = g(m-n)$, ou $g' = \frac{m-n}{m+n} g$; or, $m-n$ différence des deux masses pouvant être rendue aussi petite qu'on voudra, on pourra ralentir le mouvement jusqu'au point de la rendre facilement observable.

L'axe de la poulie repose sur les jantes croisées de quatre poulies mobiles, disposition qui a pour objet de diminuer le frottement; une règle verticale graduée, servant à comparer les espaces parcourus, et une horloge complètent la machine d'Atwood; on reconnaît d'abord que deux espaces, l'un quadruple de

l'autre, sont parcourus par une des masses chargées d'un petit poids additionnel, dans des temps qui sont entre eux comme deux est à un. La loi des espaces se trouve ainsi vérifiée (fig. 2).

Pour constater celle des vitesses on emploie comme augmentation de poids une petite lame métallique qui peut être retenue par un anneau fixé à la règle, à une certaine époque du mouvement imprimé, on reconnaît alors que la masse qui a parcouru un certain espace jusqu'à l'anneau, pendant un certain temps, et d'un mouvement accéléré parcourt ensuite, dans le même temps, lorsque la lame s'en est séparée, un espace double du premier, mais d'un mouvement uniforme; ce dernier espace varie proportionnellement au temps employé par la masse à atteindre l'anneau quand on répète l'expérience en plaçant cet anneau à différentes hauteurs.

§ IV. — *Poids; centre de gravité, définition de la masse et de la densité, balances.*

On appelle densité la quantité plus ou moins grande de masse ou de molécules matérielles qu'un corps contient sous un même volume. Les densités des corps sont évidemment proportionnelles au poids de l'unité de volume de chacun d'eux; ces différences de masse pourraient être constatées par d'autres phénomènes que celui de la pesanteur, par le choc des corps par exemple. On considère en physique les molécules matérielles de différente nature comme également pesantes; en chimie, au contraire, on est conduit à leur reconnaître des poids différents; mais le résultat de ces deux hypothèses sera toujours le même, si l'on considère les atomes ou molécules dites indivisibles, de deux corps différents, comme étant réellement composées de nombres différents de molécules matérielles également pesantes, réunies par une force que nous ne saurions vaincre.

Ainsi le poids P d'un corps dépend de l'intensité g de la pesanteur, de sa densité D ou de la quantité de masse qu'il contient sous l'unité de volume, enfin du nombre V d'unités de volume qu'il occupe; il varie proportionnellement à chacune de ces trois quantités, lorsque les deux autres restent constantes; il peut donc être représenté par leur produit; on peut donc écrire la formule $P = gDV$. Quand on ne change pas de lieu ou quand on ne compare pas les poids de plusieurs corps situés

dans des lieux très différents, on peut supprimer le facteur constant g, et réduire la formule précédente à celle-ci, $P = DV$; alors la densité est le poids de l'unité de volume du corps proposé; alors aussi, à égalité de poids, les volumes de deux corps sont en raison inverse de leurs densités.

Nous savons qu'un système quelconque de forces parallèles et dirigées dans le même sens peut toujours être remplacé par une seule force; que de plus, si les composantes en restant parallèles se trouvent inclinées de diverses manières par rapport au corps qu'elles sollicitent, leur résultante passe cependant toujours par le même point qu'on appelle centre des forces parallèles. Maintenant nous savons que chaque point d'une masse pesante est sollicité par une force verticale, que toutes ces forces sont sensiblement parallèles et restent telles de quelque manière qu'on incline la masse. Par conséquent, en vertu du principe cité, nous pouvons nous représenter l'attraction comme une force unique toujours appliquée au même point. On appelle centre de gravité le point par lequel passe constamment la résultante des attractions; la valeur de cette résultante est évidemment le poids du corps.

D'après ce que nous venons de dire, il est bien certain qu'un corps restera en équilibre, pourvu cependant que toutes les parties du corps soient liées à ce point d'une manière invariable et qu'il n'y ait p s d'autre force que la pesanteur; réciproquement, on pourra dire que le centre de gravité est soutenu directement ou indirectement toutes les fois qu'on verra un corps en équilibre.

Dans certains cas on peut découvrir de suite la position du centre de gravité; dans la sphère, par exemple, il est au centre de la figure; dans le cube, à l'intersection des diag nales.

Pour trouver le centre de gravité d'un corps quelconque, le moyen pratique consiste à suspendre ce corps à un fil successivement par deux ou plusieurs de ses points, la direction du fil, passant évidemment par le centre, il suffira de deux de ces directions pour en fixer la position.

Pour évaluer le plus exactement possible le poids d'un corps, il faut se servir d'une balance construite avec soin et précision. Si les bras du levier étaient parfaitement égaux, deux masses qui se feraient équilibre dans les deux plateaux seraient évidemment égales. Mais l'égalité parfaite des deux bras du levier est impossible à obtenir dans la pratique, et fort heureusement

on peut s'en passer. Ce qui importe le plus, c'est la mobilité de l'appareil et la constance du rapport des distances qui séparent le point où les plateaux sont suspendus aux extrémités du fléau.

Un prisme triangulaire en acier trempé, fixé perpendiculairement au milieu du balancier, repose, par une de ses arêtes légèrement arrondie, sur deux coussinets d'acier situés sur le même plan horizontal ; tel est le mode de suspension du fléau sur le pied de la balance. Une pièce triangulaire semblable à la précédente est fixée à l'extrémité de chaque bras du levier. C'est sur son arête supérieure que s'appuient des crochets dont les courbures extérieures sont elles-mêmes taillées en couteau, et qui supportent un des plateaux.

Il faut que le centre de gravité du fléau soit situé au-dessous de l'arête de suspension pour que l'équilibre soit stable, mais à une distance telle que les oscillations ne soient ni trop lentes ni trop rapides.

Une longue aiguille est fixée au balancier dans un plan mené par l'arête de contact, perpendiculairement à la ligne qui joint les points de suspension des plateaux ; sa pointe oscille devant un arc tracé sur le pied de la balance et gradué symétriquement de part et d'autre d'un zéro situé dans le plan vertical qui passe par l'axe de suspension du fléau.

Pour se passer de l'égalité des bras de levier, on pèse les corps par la méthode dite de substitution. On met le corps dont on veut évaluer le poids sur un des plateaux, et on l'équilibre par des masses quelconques que l'on place dans l'autre, on enlève ensuite le corps, et on lui substitue des poids connus jusqu'à ce que l'équilibre soit de nouveau établi ; la somme de ces derniers poids sera évidemment égale au poids du corps proposé.

§ V. — *Mouvement de rotation, expériences sur la force centrifuge.*

Quand un corps lié par un fil inextensible, à un point fixe C, décrit, d'un mouvement uniforme, la circonférence du cercle dont C est le centre et C M le rayon, il doit nécessairement éprouver, à chaque instant et dans la direction du fil, une impulsion qui lui fait quitter la tangente au cercle, ou il tend à se mouvoir en vertu de son inertie pour le ramener sur sa cir-

conférence. La somme de ces impulsions est une force continue de la nature des forces accélératrices constantes ; elle peut être regardée comme détruisant les impulsions d'une force contraire qui sollicite le corps à s'éloigner du centre, et qui les écarterait effectivement si le fil venait à se rompre. Cette dernière force, qui porte le nom de force centrifuge, détermine la plus ou moins grande tension du fil et la quantité de résistance que doit opposer le point fixe pour que le mouvement proposé puisse avoir lieu (fig. 3).

L'intensité de la force centrifuge dont il s'agit peut se déduire de l'effet produit par la force centrale qui lui est égale en valeur absolue. Si le corps arrivé en M avec sa vitesse sur la courbe, cessait d'être lié au point fixe, il décrirait, sur la tangente au cercle, pendant un temps très court T, un espace MT ; d'un autre côté si le corps parvenu en M, sans vitesse acquise, éprouvait l'action de la force centrale, il parcourrait d'un mouvement varié, sur le rayon CM et dans le même temps T, un espace MP. Or il résulte de la loi de la proportionnalité des forces aux vitesses, que lors de l'existence simultanée de la vitesse acquise et de la force centrale, le corps doit décrire d'un mouvement composé, et toujours dans le temps T, un élément circulaire MN, tel que MP soit sa projection sur le rayon CM ; en supposant, comme on le fait ici, que l'arc MN soit assez peu étendu pour que l'on puisse regarder les directions des impulsions centrales comme étant toutes parallèles à CM, lorsqu'elles agissent sur le corps allant de M à N dans le temps très court T.

D'après cela, si r est le rayon du cercle, et v la vitesse du corps sur la courbe, l'arc MN sera égal à vT ; cet arc pouvant être confondu avec sa corde qui est moyenne proportionnelle entre le diamètre $2r$ et sa projection MP, on aura $MI = \frac{MN^2}{2r} = \frac{v^2T^2}{2r}$. Connaissant l'espace que la force centrale ferait décrire au corps dans le temps T, il est facile d'en conclure son intensité, car toute force accélératrice constante a pour mesure le double de l'espace décrit, divisé par le carré du temps employé; la force centrale qu'il s'agissait d'évaluer, a donc pour mesure $\frac{2MP}{T^2}$, ou en substituant à MP sa valeur $\frac{v^2}{r}$.

Ainsi la force centrifuge qui sollicite le corps proposé dont la masse est prise pour unité à s'éloigner du centre, est égale

au carré de la vitesse qui l'anime, divisé par le rayon du cercle décrit.

On peut vérifier facilement ces résultats par l'expérience : on prend une longue barre horizontale AB, mobile sur un pivot vertical CD, et terminée par deux tiges verticales AA′ et BB′; les deux extrémités A′ et B′ servent à maintenir horizontalement une baguette métallique sur laquelle on peut enfiler des boules de masses différentes, et l'on place l'une de ces boules au milieu de la baguette, de manière que son centre soit sur le prolongement de l'axe CD; elle reste à cette place lorsque l'on imprime à l'appareil un mouvement de rotation rapide. Mais si, pendant ce mouvement, la boule est écartée du centre, elle s'en éloigne de plus en plus et va frapper contre une des tiges AA′, BB′. Dans le premier cas, la boule tourne autour de son diamètre vertical; toutes les parties sont alors animées de forces centrifuges différentes, mais égales et contraires, deux à deux, en sorte que leur effet total est nul pour transporter la boule. Dans le second cas, cet équilibre n'est pas possible, et la boule doit s'éloigner de l'axe de rotation; car les forces centrifuges qui animent deux de ses parties correspondantes sont dirigées dans le même sens, ou si elles sont encore opposées, l'une est plus intense que l'autre (fig. 4).

Si l'on introduit dans l'appareil deux boules de même nature, unies entre elles par un fil inextensible, l'expérience indique qu'il est toujours possible de placer ces deux boules de part et d'autre de l'axe CD, de telle manière que, lors du mouvement de l'appareil, elles restent aux mêmes places sur la baguette. On reconnaît que, dans cette position, les distances qui séparent les deux boules de l'axe sont à peu près en raison inverse de leurs volumes ou de leurs masses.

§ VI.—*Lois des oscellations du pendule; application du pendule à la détermination de l'intensité de la pesanteur et de la figure de la terre.*

Un pendule est composé d'un corps pesant, lié à un point fixe par un fil inextensible et inflexible. La trajectoire qu'il décrit quand le fil n'étant pas vertical, le corps est abandonné à lui-même, est évidemment une circonférence, ou une portion de la circonférence dont le centre est au point fixe, et dont le rayon

est la longueur du fil. Il pourrait être en équilibre dans deux positions différentes quand il sera placé sans vitesse acquise sur la verticale passant par le point fixe au-dessus ou au-dessous de ce point. Dans les deux cas, l'action de la pesanteur sera éteinte par la résistance du point fixe; il y aura une pression exercée en ce point, et égale au poids du corps; mais ces deux positions d'équilibre diffèrent l'une de l'autre; en effet, quand le corps sera au-dessus du point fixe, au moindre derangement la pesanteur l'éloignera de la verticale; tandis que si le corps est au-dessous du point de suspension, quand on l'écartera de la verticale, il tendra à y revenir. C'est à raison de cette différence que la première de ces deux positions prend le nom d'équilibre instable, et la seconde celui d'équilibre stable.

Pour trouver les lois du mouvement du pendule, nous supposerons d'abord, par abstraction, que le corps pesant sera uni à un seul point matériel, et que le fil qui le lie au point fixe soit sans pesanteur. C'est ce système nouveau que l'on appelle pendule simple en mécanique; si ce pendule simple est éloigné par une cause quelconque d'un angle A de sa position d'équilibre stable, il tend à y revenir en vertu de l'action de la pesanteur; il décrit alors un arc de cercle d'un mouvement varié, mais non uniformément; car α étant l'angle que le fil fait avec la verticale à une époque quelconque, et g l'intensité de la pesanteur, cette force peut être décomposée en deux autres : l'une $g \cos \alpha$ suivant le prolongement du fil, qui est détruite par la résistance du point fixe, et l'autre $g \sin \alpha$ suivant l'élément de la courbe décrite de sa tangente; or cette dernière composante, qui représente l'impulsion réellement donnée, varierait avec l'angle α; la force avec le retrait du mouvement considéré n'est donc pas constante.

Quand la tige du pendule faisant l'angle A avec la verticale, le système est abandonné à lui-même, le point matériel se meut d'un mouvement accéléré, en vertu d'impulsions, décroissant en intensité; il arrive au point le plus bas de sa course avec une vitesse acquise, et remonte alors de l'autre côté de la verticale dans cette partie ascendante de sa trajection; la pesanteur agit comme force retardatrice, et diminue la vitesse des mêmes quantités dont elle l'avait augmentée dans la partie descendante; il suit de là que le point matériel parviendra avec une vitesse nulle à la même hauteur d'où il est descendu. La pesanteur continuant d'agir, il redescendra de nouveau pour remonter ensuite en par-

courant en sens contraire et avec la même vitesse l'arc total qu'il avait décrit, et ainsi de suite; il ne s'arrêtera enfin qu'autant que des obstacles ou des forces étrangères viendront contrarier son mouvement.

Le calcul indique que si l'écartement primitif ou l'angle A est d'un petit nombre de degrés, le temps t d'une oscillation est donné par la formule $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$; l étant la longueur de la tige, et π la circonférence dont le diamètre est un. Ce temps est donc indépendant de l'écartement primitif; l'expérience confirme le résultat du calcul.

Mais cette expérience ne peut être faite qu'avec un pendule composé qui a un volume sensible et une tige pesante. Dans ce nouveau système, chaque point matériel, s'il était isolé et considéré comme un pendule simple, décrirait une oscillation dont la durée dépendrait de sa distance au point de suspension. Tous les points matériels étant au contraire réunis d'une manière invariable, le mouvement oscillatoire des uns sera ralenti, celui des autres sera accéléré. Mais il y a des points qui forment leurs oscillations comme s'ils étaient autant de pendules simples. Or on a des moyens exacts pour déterminer la longueur du pendule simple qui oscille dans le même temps que le pendule composé donné. Cette longueur étant trouvée, la formule $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ peut donner t, ou la durée de l'oscillation quand g est connu, ou g quand t est connu. Le pendule offre donc un moyen de comparer l'intensité de la pesanteur dans différents lieux.

Deux causes font varier l'intensité de la pesanteur aux différents points de la surface de la terre: l'une est l'inégalité du mouvement de rotation; l'autre est l'inégalité de la distance au centre du globe. Ainsi le pendule seul ne peut pas servir à déterminer la forme de la terre, puisqu'il ne peut signaler que des différences provenant des deux causes perturbatrices agissant ensemble; il faut alors avoir recours à des procédés appuyés sur l'astronomie.

CHAPITRE III.

HYDROSTATIQUE.

§ VII. — *Principe d'égalité de pression. Condition d'équilibre des liquides. Des pressions verticales et latérales. Équilibre des liquides homogènes ou hétérogènes dans les vases communiquants. Presse hydraulique. Superposition de plusieurs liquides de densités différentes.*

Toutes les propriétés des liquides en équilibre sont des conséquences de ce principe fondamental qu'un liquide transmet sans altération à toutes ses parties une pression exercée sur une portion quelconque de sa surface. Ainsi concevons dans un vase prismatique un liquide que nous ne supposerons pas soumis à l'action de la pesanteur, et sur lequel on exerce une pression au moyen d'un piston. Toutes les parties du vase éprouveront cette pression proportionnellement à leurs surfaces, en sorte que si l'on pratiquait dans la paroi du vase une ouverture en quelque endroit que ce fût, et que l'on voulût maintenir l'équilibre du liquide qui tendrait à sortir par cette ouverture en la fermant avec un second piston, il faudrait appliquer à ce nouveau piston une force ou pression qui serait à la pression exercée sur le premier dans le rapport des surfaces dans deux pistons, et qui lui serait égale si ces deux surfaces étaient égales entre elles. Si donc on convient de prendre pour la mesure de la pression exercée à la surface du liquide la pression transmise sur l'unité de la surface, elle sera la même partout sur les parois du vase, ainsi que sur tout corps à faces planes qui serait plongé dans ce liquide.

Faisons maintenant agir la pesanteur, il resultera de cette action une pression variable d'une partie à l'autre de la masse; or cette pression sera évidemment proportionnelle à sa hauteur, si l'on suppose les liquides incompressibles; elle sera de plus la même pour tous les points situés sur un même plan horizontal. Les pressions constantes en deux points situés sur une même

verticale différeront entre elles d'une quantité égale au poids d'une colonne de liquide qui aurait pour base l'unité de surface, et pour hauteur la distance des deux points considérés. On voit d'après cela que la pression résultante de l'action de la pesanteur, sur toutes les parties d'une masse liquide, ne dépend que de la hauteur du liquide, et est indépendante de la forme du vase.

Il faut donc bien distinguer dans un liquide en équilibre la pression résultant d'une action exercée sur la surface, et qui se transmet également à toute la masse, de la pression due à l'action de la pesanteur, laquelle est différente pour les molécules liquides à différentes hauteurs.

Il résulte de la mobilité relative des parties d'un même liquide que la résultante des forces qui agissent sur une molécule de sa surface doit agir de dehors en dedans, et qu'elle doit être normale à cette surface; car si elle était oblique, elle pourrait se décomposer en une force normale ou pression qui se transmettrait dans la masse, et en une force tangentielle que ferait glisser les molécules, et troublerait conséquemment l'équilibre. C'est par cette raison que la surface des eaux tranquilles est perpendiculaire en tous points à la direction de la pesanteur.

La pression p, due à l'action de la pesanteur sur un liquide en équilibre, sera évidemment proportionnelle à l'intensité g de la pesanteur, à la densité d de ce liquide, enfin à la hauteur h qui sépare du niveau supérieur le plan horizontal où se trouve l'unité de surface sur laquelle s'exerce la pression proposée; on pourra donc poser $p = g\,h\,d$; la pression p, exercée sur le fond horizontal d'un vase contenant b unités de surface, par un liquide dont le niveau supérieur est élevé de h au-dessus de ce fond, et dont la densité est d, sera donc donnée par la formule $p = g\,b\,h\,d$, et cela quelle que soit la forme des parois latérales du vase.

D'après cela, si l'on prend plusieurs vases ayant tous des fonds égaux en surface et situés sur un même plan horizontal, mais ayant les uns la forme d'un cylindre droit ou oblique, les autres celle d'un cône tronqué droit ou oblique, posé sur sa plus petite ou sur sa plus grande base, un même liquide s'élevant à la même hauteur dans tous ces vases, devra exercer sur leurs fonds des pressions qui seront toutes égales entre elles. Cette conséquence se vérifie par l'expérience.

Quand une masse liquide est partagée entre plusieurs vases, et que les masses partielles communiquent entre elles par des tubes inférieurs à leurs surfaces libres, l'équilibre de la masse

totale exige que le liquide ait le même plan horizontal de niveau dans tous les vases; car lorsque l'équilibre existe, une membrane ou un piston mobile, qu'on imaginerait placé transversalement dans un des tubes de communication, devrait être également pressé sur ses deux faces, ce qui exige que le liquide soit à la même hauteur dans les deux vases réunis par ce tube; c'est sur ce principe qu'est fondé le niveau.

Quand deux liquides de densités différentes, d et d', peuvent être en contact sans se combiner, et l'un au dessous de l'autre sans se mélanger, s'ils sont contenus séparément dans deux vases communiquants, leurs niveaux supérieurs seront à des hauteurs différentes h et h' au-dessus du plan horizontal P de la surface de séparation de ces deux liquides. Pour que la masse de même liquide, inférieure au plan P, soit en équilibre, les hauteurs h et h' devront être telles que la pression sur l'unité de surface du plan P soit la même de part et d'autre; on devra avoir $g h d = g' h' d'$; ou bien $d h = d' h'$; ou enfin $h : h' :: d' : d$, c'est-à-dire que les hauteurs proposées devront être en raison inverse des densités (fig. 5).

Cette conséquence peut être vérifiée par l'expérience. Si l'on prend un tube recourbé, que dans une des branches on verse du mercure, et de l'eau dans la seconde, quand l'équilibre est établi, on remarque que l'eau s'élève treize fois et demi plus haut que le mercure au-dessus du plan de la surface de séparation des deux liquides, et l'on sait que le mercure pèse treize fois et demi plus que l'eau sous le même volume (fig. 6).

Les rapports des dimensions des deux vases communiquants pouvant varier sans que le principe précédent cesse d'avoir lieu, on voit qu'il est possible de faire équilibre à une grande masse de liquide contenue dans un vase d'un grand diamètre, au moyen d'une petite masse d'un autre liquide contenu dans un second vase de petit diamètre communiquant avec le premier. On conçoit encore que l'on puisse remplacer de part et d'autre une portion de liquide par un piston, sur lequel on exercera une pression; tel est le principe de la presse hydraulique de Pascal (fig. 7).

§ VIII. — *Principe d'Archimède démontré par le raisonnement et par l'expérience. — Détermination des densités des corps solides et liquides. — Aréomètres à volumes constants et à poids constants.— Usage des tables des pesanteurs spécifiques.*

Quand un corps est plongé dans un liquide, il perd une partie de son poids, et cette partie est précisément égale au poids du volume du liquide déplacé par ce corps. Il est facile de le démontrer par le raisonnement. Car on peut concevoir dans un vase plein d'eau en équilibre une portion du liquide solidifiée. Les molécules du liquide étant en équilibre dans le premier cas, y seront encore dans le second; et, par suite, la portion que l'on a supposée solidifiée ne devra pas changer de place. Elle pourra être considérée aussi comme ayant un poids nul, puisqu'elle sera en équilibre dans toutes les positions dans l'intérieur du liquide. On voit par là qu'un corps placé dans un liquide perd évidemment une partie de son poids égale à celui du volume d'eau déplacé.

L'expérience directe peut confirmer ce que la théorie a démontré. En effet, au-dessous du plateau d'une balance suspendez un petit cylindre plein en cuivre, en ayant soin de placer à l'avance, dans ce même plateau de balance, un cylindre creux, lequel peut être exactement rempli par le cylindre plein. Mettez la balance en équilibre en ajoutant des poids dans le second plateau; notez-en la quantité; placez ensuite la balance au-dessus d'un vase contenant de l'eau, de manière à faire plonger simplement le cylindre plein en cuivre; vous remarquez que ce cylindre flotte sur l'eau comme un morceau de bois, c'est-à-dire qu'il n'enfonce pas; de telle sorte que pour rétablir l'équilibre il faut verser de l'eau dans le cylindre creux, de manière à le remplir exactement, alors la balance reprend sa position d'équilibre.

Sous des volumes égaux, des corps de nature différente ont des masses bien différentes, et par suite des poids bien différents. Un corps est d'autant plus dense que sous le même volume il est plus pesant. On appelle densité relative, ou simplement densité, le rapport de la quantité des poids de deux corps sous le même volume. Si le poids d'un litre d'eau est représenté par n grammes, et celui d'un litre d'eau-de-vie par n' grammes, on dira : les densités de ces deux liquides sont représentées par n

et n', ou sont entre elles comme n est à n', ou comme l'unité est à $\frac{n'}{n}$. On prend ordinairement la densité de l'eau pour unité.

Pour déterminer la densité des corps solides, on emploie le moyen que nous avons indiqué tout à l'heure en parlant du cylindre de cuivre, en pesant un corps pendant qu'il est plongé dans l'eau et suspendu à un fil d'un poids insensible, et en le pesant hors de l'eau. On a, par la différence des poids, le poids de l'eau déplacée. Il est facile d'avoir le poids réel du corps solide. Le rapport de ces poids exprime la densité du corps par rapport à l'eau. Si le corps est altérable dans l'eau, il faut le plonger dans un liquide qui ne l'attaque pas, et prendre ensuite la densité de ce liquide par rapport à l'eau.

Si le corps est liquide, il suffira de peser un vase plein d'eau et ensuite plein du liquide que l'on veut étudier pour en conclure la densité.

On a imaginé des instruments au moyen desquels on peut facilement trouver la densité des corps; on les appelle aréomètres.

Ils se composent généralement d'un petit cylindre D, terminé à sa base C par un petit entonnoir C renversé, et à la base supérieure par un petit plateau A destiné à supporter des poids l'instrument. Pour se servir de cet instrument, on place le corps à essayer en C; on dispose les poids de manière à faire arriver le niveau du liquide en B; on retire le corps de l'eau et on le place sur la plaque A, l'instrument tend à s'enfoncer davantage. On ôte une certaine quantité de poids nécessaire pour faire remonter le niveau au point fixe B; on a ainsi le poids du liquide déplacé. On enlève ensuite le corps de la plaque et on le remplace par des poids. Cette nouvelle opération donne le poids du corps, ce qui permet de déduire la densité (fig. 8).

Mais ces aréomètres ne s'emploient réellement que pour évaluer la densité de certains liquides. En prenant à l'avance le poids de l'instrument, on peut savoir de suite quel est le poids du liquide déplacé, puisque ce poids est égal au poids de l'instrument et aux poids ajoutés en A. Alors, en plongeant l'appareil successivement dans l'eau et dans le liquide dont on veut prendre la densité, le rapport des poids de ces liquides, sous volume constant, donnera la densité cherchée (fig. 9).

Au lieu d'être à volume constant, quelquefois les aréomètres sont à poids constant. Dans ce cas, ils sont à peu près cylindriques et gradués; et c'est d'après le degré d'enfoncement de l'instrument que l'on peut juger de la densité du liquide dans lequel il est placé, en se servant pour cela de tables préparées à l'avance, et qui varient avec les différents liquides que l'on veut essayer (fig. 10).

On donne des noms particuliers à ces différents aréomètres, suivant les usages auxquels on les destine. On les appelle alcalimètres, chloromètres, alcoomètres, etc.

§ IX. — *Fluides élastiques, pesanteur de l'air démontrée par l'expérience. — Baromètre. — Loi de Mariotte. — Manomètres. — Machine pneumatique. — Machine de compression. — Fusils à vent. — Fontaines de compression. — Application du principe d'Archimède aux fluides élastiques. — Mongolfières-ballons. — Mélange des fluides élastiques.*

Les fluides élastiques se distinguent des liquides en ce qu'ils éprouvent des changements de forme et de volume, incomparablement plus grands lorsque les circonstances dans lesquelles ils se trouvent viennent à changer; de plus, aucun gaz ou fluide élastique ne peut rester en équilibre que lorsqu'il est contenu dans un espace fermé dont les parois résistent à son expansion, tandis que certains liquides semblent pouvoir conserver leur forme et leur équilibre, lors même qu'aucune pression ne serait exercée à leur surface libre. Les liquides, tels qu'on les considère en mécanique, doivent jouir de cette dernière propriété; nous verrons cependant par la suite qu'il n'en est pas ainsi généralement pour les liquides de la nature. Il est donc difficile de donner de l'état du gaz une définition qui lui appartienne exclusivement, on peut regarder toutefois comme un caractère fondamental d'un fluide élastique cette force expansive en vertu de laquelle il tendrait à occuper un volume plus grand sans changer d'état, si des parois résistantes ou des pressions exercées à sa surface ne le maintenaient en équilibre.

Les fluides élastiques sont rangés en deux classes, les gaz permanents et les vapeurs. Les premiers sont ceux qui, soumis à de grandes variations de pression ou de température, conservent

leur état de gaz. Les vapeurs, au contraire, se changent en liquide sous l'influence de très faibles variations.

Les fluides élastiques sont, comme les liquides et les solides, soumis à la pesanteur ; on le démontre en pesant un vase successivement plein et vide de ce fluide.

L'air étant un gaz, doit par conséquent être soumis à la pesanteur, et par suite presser sur tous les corps. C'est au reste ce que l'expérience établit facilement.

On peut en effet remplir un tube, fermé à un bout, avec de l'eau, et plonger l'extrémité ouverte dans un réservoir d'eau; et si l'on a bien opéré, le tube ouvert reste plein d'eau. D'après ce que nous avons dit sur l'équilibre des liquides dans les vases communiquants, il est évident que si l'eau ne retombe pas au niveau *n*, c'est que la surface *n* est pressée par l'air (fig. 11).

En remplaçant l'eau par le mercure et en se servant d'un tube d'environ 30 pouces de longueur, on remarque, en renversant le tube, que le mercure ne le remplit plus, et que le niveau intérieur est à environ 28 pouces au-dessus du niveau extérieur.

Cette expérience donne la mesure de la pression atmosphérique. On appelle baromètre tout instrument destiné à mesurer la pression atmosphérique.

Il y en a trois ou quatre généralement employés.

Nous avons dit que les gaz étaient compressibles, et d'autant plus qu'ils sont plus comprimés.

Or, il existe une relation très simple entre la densité et la force élastique d'un gaz quelconque ; cette relation ou loi est due à Mariotte, qui l'a reconnue le premier. On la met en évidence au moyen de l'appareil suivant, qui consiste en un tube cylindrique recourbé, à branches très inégales. La petite branche est fermée, graduée dans le sens de ses arêtes, et doit être bien calibrée, c'est-à-dire partout d'un égal diamètre ; l'autre branche, très longue, est ouverte vers le haut en forme d'entonnoir. On met du mercure dans ce tube de manière qu'il soit de niveau dans les deux branches; la pression ou l'élasticité de l'air renfermé dans la petite est alors égale à la pression atmosphérique. On note avec soin le nombre N de divisions occupées par cet air; on ajoute du mercure dans la longue branche jusqu'à ce que son niveau soit au-dessus du niveau du mercure dans la petite branche, d'une quantité égale à la hauteur barométrique. L'élasticité de l'air intérieur est alors évidemment double de la pression at-

mosphérique, ou de ce qu'elle était au commencement lorsqu'il occupait N divisions ; or, on ne trouve que $\frac{N}{2}$ divisions, conséquemment son volume a diminué de moitié, ou sa densité a doublé. En portant successivement la différence des hauteurs du mercure dans ces deux branches à deux fois, trois fois, etc., la longueur de la colonne barométrique, on trouve que l'air de la petite branche est comprimé de manière à n'occuper que $\frac{N}{3}$ $\frac{N}{4}$, etc., divisions. Toutes ces expériences démontrent et vérifient la loi que les volumes occupés par une même masse de gaz sont en raison inverse des pressions qu'elle supporte.

Cette loi est vraie pour des pressions poussées jusqu'à 27 atmosphères, et pour des pressions beaucoup inférieures à une seule atmosphère.

On a souvent besoin en physique d'enlever une partie ou même la totalité de l'air contenu dans un certain espace ; on emploie à cet effet la machine pneumatique. Son efficacité est fondée sur la propriété des gaz d'exercer des pressions sur les parois qui les contiennent, et qui est telle que si l'on avait un vase indéfiniment extensible, le gaz qu'il contiendrait se dilaterait toujours de manière à le remplir entièrement.

Pour priver, autant que possible, un corps du contact de l'air, on l'isole comme il le serait dans un vase fermé au moyen d'une cloche de verre, ou récipient, dont l'ouverture est appliquée sur un plan ou plateau de verre ; on assure le contact parfait du plateau et des bords de l'ouverture de la cloche qui sont exactement plans, en interposant entre eux un corps gras. Une cavité pratiquée dans le plateau de verre communique par un tube recourbé avec un corps de pompe cylindrique dans lequel peut se mouvoir un piston ; un robinet placé près de ce corps de pompe permet d'établir ou d'intercepter à volonté la communication en ouvrant ou fermant le tube. Une ouverture, pratiquée dans l'épaisseur du piston, est munie d'une soupape ou mécanisme qui peut céder à un excès de pression exercée de bas en haut, mais qui ferme complétement l'ouverture quand la pression prépondérante s'exerce de haut en bas,

Le piston étant en bas et le robinet ouvert, quand on soulèvera le piston, l'air extérieur ne pouvant passer entre lui et le corps de pompe, si, comme nous le supposons, l'appareil est bien exécuté et la soupape étant fermée, ce sera l'air du récipient qui, se dilatant, se répandra dans le corps de pompe. Le piston étant en haut, si l'on ferme le robinet et que l'on abaisse le piston, il comprimera l'air du corps de pompe, dont la force élastique, augmentant, finira par devenir supérieure à celle de l'air extérieur; alors la soupape s'ouvrant, l'air du corps de pompe s'échappera.

Le piston étant arrivé au bas de sa course, si l'on ouvre le robinet, on pourra recommencer la même série d'opérations, et diminuer ainsi successivement la masse d'air du récipient; mais on ne pourra jamais l'enlever en totalité; car pour que l'air répandu dans le corps de pompe puisse s'échapper lors de la descente du piston, il faut qu'il soulève la soupape.

Or, après qu'on aura répété les opérations précédentes un certain nombre de fois, il arrivera nécessairement que la masse d'air répandu dans le corps des pompes sera assez petite pour pouvoir se loger entre les parois du cylindre du piston, sans exercer contre la soupape une pression assez forte pour la soulever; à partir de ce moment l'air du récipient ne pourra plus diminuer.

Il est facile de voir que tant que l'appareil agit efficacement, l'air du récipient décroît en progression géométrique quand le nombre des coups de piston augmente en progression arithmétique, puisque le corps de pompe enlève à chaque coup la même fraction de la masse d'air restant dans ce récipient, fraction qui a pour numérateur le volume du corps de pompe, et pour dénominateur ce même volume augmenté de la capacité du récipient. Si cette progression décroissante pouvait continuer indéfiniment, on pourrait regarder, sans erreur sensible, l'air du récipient comme totalement enlevé au bout d'un très grand nombre de coups de piston; mais le poids qu'on est obligé de conserver à la soupape pour qu'elle soit suffisamment résistante, et l'impossibilité de réduire à zéro l'espace compris entre les parois du corps de pompe et le piston baissé, arrêtent toujours l'efficacité de l'appareil décrit, et s'opposent à l'extraction de la totalité de l'air du récipient.

La machine pneumatique, telle que nous venons de la décrire, fut la première employée; elle a été beaucoup perfectionnée

par l'emploi de deux corps de pompe de même dimension, communiquant tous deux, par un même conduit, avec le récipient, et dont les tiges, disposées en crémaillières, peuvent être mises en mouvement par un pignon intermédiaire, qu'une double manivelle, assemblée sur son axe, permet de faire tourner tantôt dans un sens tantôt dans l'autre. On est parvenu à équilibrer entre elles les pressions exercées par l'atmosphère sur les deux pistons, puisque, d'après la disposition précédente, l'un de ces pistons monte tandis que l'autre descend.

Le robinet a été remplacé par un petit canal pratiqué dans le piston, et contenant une boîte en cuir ou un certain nombre de rondelles en cuir réunies par pression et toutes percées en leur centre d'un trou par lequel passe une tige de cuivre bien rodé, qui peut se mouvoir à frottement; cette tige est terminée vers le bas par un cône qui entre, pour la fermer dans l'ouverture du tube de communication avec le récipient, quand le piston s'abaisse; le cône quitte au contraire l'ouverture et la laisse ouverte quand le piston s'élève entraînant la tige; mais pour limiter l'ascension de ce petit cône et faire en sorte qu'il reste toujours très près de l'ouverture, la tige prolongée au-dessus du piston va battre contre un plan horizontal fixé vers le haut du corps de pompe.

La soupape du piston est formée par une petite rondelle de cuir, pincée d'un côté de manière à s'appliquer exactement sur l'orifice, et dont il faut que la pression de l'air intérieur surmonte l'élasticité pour que cet air puisse s'échapper; cette rondelle retombe ensuite, en vertu de cette élasticité et de la pression de l'atmosphère, quand le piston est soulevé.

On adapte à la machine pneumatique un manomètre ou une éprouvette qui est renfermé dans une cloche en verre, communiquant avec l'air du récipient, dont il indique la pression restante. Pour pouvoir à volonté fermer ou ouvrir une communication entre le récipient et l'air extérieur, on se sert d'un robinet auquel on donne le nom de clef de la machine; il est placé transversalement au conduit principal qui fait communiquer le récipient et le corps de pompe; il est percé de deux canaux, l'un transversal, qui doit être dans l'axe du conduit de la machine lorsque l'on veut le faire agir; l'autre, d'abord dans l'axe du robinet, se recourbe de manière à aboutir à sa surface latérale, à un quadrant de distance de chacune des ouvertures du premier canal; le second canal est fermé extérieurement par

un bouchon métallique à vis. Pour faire rentrer l'air sous le récipient, on ôte ce bouchon et on tourne le robinet d'un quart de révolution, l'ouverture du second canal est alors dans l'axe du conduit principal de la machine (fig. 12).

Par une disposition inverse des soupapes de chaque corps de pompe on change la machine de dilatation en machine de compression. Nous ferons remarquer toutefois que le récipient doit être alors maintenu contre le plateau par une pression artificielle, car l'excès de la pression de l'air comprimé sur celui de l'air extérieur tend à le soulever.

Le fusil à vent est un réservoir d'air auquel on adapte un tube. Ce réservoir contient de l'air comprimé à dix, vingt, quelquefois quarante atmosphères, et par une disposition particulière, on permet à ce gaz gaz de s'échapper par le tube dans lequel on peut placer une ou plusieurs balles (fig. 13).

La fontaine de compression se compose d'un vase ordinairement en laiton, terminé à sa partie supérieure par un tuyau ouvert à ses deux extrémites *a b*; un robinet *c* permet d'interrompre la communication entre ces deux extremités. On adapte la partie *a* à une pompe aspirante et foulante, et l'on charge l'appareil avec de l'air. Le récipient étant en grande partie plein d'eau, l'air arrive en *b* et remonte au-dessus du niveau; de sorte que quand on vient à ouvrir le robinet *c* par sa force élastique, il pèse sur le liquide et le fait jaillir (fig. 14).

Le principe d'Archimède est tout-à-fait applicable aux fluides gazeux. C'est en partant de ce principe qu'on a construit les ballons. Puisqu'un corps plongé dans l'air perd de son poids une partie égale au poids du volume déplacé, si ce corps est moins lourd que le volume d'air deplacé, il devra monter par la même cause qu'un morceau de liege plongé dans de l'eau remonte à la surface.

Les mont olfières sont de grands réservoirs sphériques en papier ou taffetas gommé ou en baudruche, pleins d'air entretenu chaud par un foyer qui est au-dessous; ces réservoir sont percés de manière à permettre à l'air chaud d'entrer.

Les ballons sont des réservoirs de même composition que les précédents, et que l'on remplit avec de l'hydrogène.

Si l'on introduit dans un récipient plusieurs gaz, chaque gaz agit comme s'il était seul, c'est-à-dire que le contact de l'un d'eux avec les autres ne diminue en rien sa force élastique, à moins qu'il n'y ait action chimique de ces gaz les uns sur les

autres. Ainsi, si l'espace est limité, il sera facile de savoir la force élastique du gaz mélangé, en calculant successivement celle de chacun d'eux, comme s'il était seul, et en les ajoutant.

§ X. — *Énoncé du théorème de Torricelli sur l'écoulement des liquides; moyen de le vérifier par expérience, en ayant égard à la contraction de la veine-vase de Mariotte ; siphon; siphon intermittent; fontaine intermittente; pompes aspirantes et foulantes.*

Si l'on fait une ouverture à la paroi d'un vase, le liquide s'échappe, comme on sait, avec une vitesse plus ou moins grande, suivant que le niveau est plus ou moins élevé au-dessus de l'orifice. Torricelli a reconnu le premier que cette vitesse était égale à celle d'un corps qui serait tombé de la hauteur du niveau.

Pour vérifier ce théorème, on peut ajouter à l'orifice un tuyau recourbé de bas en haut ; on voit alors que le liquide s'élance à peu près à la hauteur du niveau; or on sait que la vitesse initiale d'une molécule lancée verticalement, est égale à la vitesse qu'elle acquerrait en retombant ; on a le même résultat avec différents liquides. De sorte que la loi de Torricelli s'applique a toute espèce de liquide.

Quand on connaît la vitesse d'écoulement et la grandeur de l'orifice, il paraît facile de calculer la dépense ; mais dans la réalité il ne sort guère que les trois quarts de la dépense calculée; cela tient à ce que le cylindre se rétrécit à une petite distance de l'orifice pour s'élargir ensuite. Son diamètre minimum est d'environ les huit dixièmes de l'orifice; de sorte que les choses se passent comme si le diamètre de l'ouverture faite au vase était rétrécie. Le rétrécissement observé est connu sous le nom de contraction de la veine, il est dû à la différence de vitesse et de direction des molécules qui se présentent pour sortir. Il a également lieu dans le vide. La contraction ne s'observe plus quand l'orifice est très étroit. On suppose dans ce qui précède les orifices en mince paroi, c'est-à-dire percés dans une plaque mince.

D'après le théorème de Torricelli, on conçoit facilement l'élévation de l'eau en jets. Ainsi on voit que pour établir un jet d'eau, il faut avoir tout un réservoir dont le niveau soit d'autant plus élevé qu'on veut avoir un jet plus haut. Il faut remar-

quer que le liquide s'élance en vertu de la pression qu'il éprouve à l'orifice de sortie, et non pas à cause de la vitesse acquise dans les tuyaux de communication; jamais le jet ne s'élève aussi haut que le niveau du réservoir; la différence est d'autant plus grande qu'il s'agit de jets plus élevés. Dans la plupart même, le jet n'atteint pas la hauteur du réservoir.

Le vase de Mariotte est un appareil au moyen duquel on peut se procurer un écoulement constant pendant un temps considérable; il consiste principalement en un vase percé en deux endroits, en A et en B, dans lequel on place de l'eau ou un liquide quelconque; l'ouverture est fermée hermétiquement par un bouchon traversé par un tube ouvert à ses deux extrémités et plongeant dans le liquide. Quand l'appareil est dans la position où il est dessiné, le liquide s'échappe par l'ouverture B comme s'il tombait d'une hauteur CD. On voit donc qu'il suffit d'enfoncer plus ou moins le tube dans le liquide pour faire varier la vitesse d'écoulement qui reste constante jusqu'à ce que le niveau KK soit descendu en C (fig. 15).

On appelle siphon, un tube recourbé en U et destiné à transvaser un liquide d'un vase dans un autre. Avec cet instrument l'écoulement n'est pas constant, puisqu'il varie avec la hauteur des niveaux qui change à chaque instant. Pour faire jouer le siphon, il faut l'amorcer, c'est-à-dire le remplir complétement et le placer alors dans les deux vases où l'on veut opérer. Pour rendre son mouvement plus commode, on a l'habitude d'adapter à ses deux extrémités deux robinets que l'on ferme dès que l'on veut enlever le siphon; il suffit alors de le replonger dans d'autres vases, de les ouvrir de nouveau pour faire marcher l'appareil (fig. 16).

On a varié beaucoup le nombre des siphons, mais tous se ramènent, en dernière analyse, à celui que nous avons présenté. Dans tous la dépense dépend de la largeur du tuyau, de la largeur de ses extrémités et de la différence des hauteurs du niveau.

On appelle siphon intermittent, un siphon disposé de telle manière qu'il ne peut jouer que dans certaines circonstances et à des époques successives; s'il est disposé par exemple, comm dans la figure B, on conçoit qu'il ne pourra jouer que quand l niveau B du liquide dans le vase sera arrivé en D, alors l liquide s'écoulera jusqu'à ce que le niveau soit descendu en Ce Si alors un petit filet d'eau *o* continue à couler dans le vase, il le

remplira une seconde fois; il reviendra ensuite pour se remplir de nouveau, et ainsi de suite (fig. 17).

On appelle fontaine intermittente, un petit appareil composé d'un vase A, percé de plusieurs trous; en B se trouve un tube qui soutient le vase, ce tube est soudé sur un plateau CD destiné à recueillir le liquide qui s'échappe. C'est par ce tuyau B que rentre l'air destiné à remplacer l'eau qui s'échappe en D. Si l'on place de l'eau sur le plateau CD, en lui permettant de fuir par une petite ouverture G; si de plus le tube B est percé en M d'un petit trou, on voit que tant qu'il y aura de l'eau sur le plateau CD, la rentrée de l'air dans le vase A est impossible. L'écoulement par les ouvertures F est arrêté dès que l'eau est écoulée par l'ouverture G, l'air peut rentrer par le trou M et venir remplacer l'eau qui s'écoule en F. On conçoit qu'avec un semblable appareil, en disposant convenablement les orifices, on peut avoir une fontaine intermittente (fig. 18).

Quand nous avons vu la description de la machine pneumatique, nous avons vu avec détail la description d'une pompe; nous ne reviendrons donc pas sur des détails trop longs pour ce sujet, nous dirons simplement qu'une pompe aspirante et foulante se compose d'un corps de pompe qui plonge dans un liquide; à la partie inférieure se trouve une soupape qui s'ouvre quand le piston monte et se ferme quand il descend; de sorte que l'eau, se trouvant emprisonnée, est obligée d'ouvrir une soupape latérale qui permet à l'eau de s'échapper et qui l'empêche de rentrer.

CHAPITRE IV.

CHALEUR.

§ XI. *Dilatation des corps par la chaleur; construction des thermomètres; mesures des dilatations des solides, des liquides et des gaz; détermination de la densité des gaz.*

Les différentes molécules d'un même corps s'attirent avec une force excessivement grande qui les ferait probablement passer toutes

à l'état solide s'il n'existait dans la nature un agent particulier insaisissable qui vient contre-balancer ses effets. C'est la chaleur, qui a pour principal effet de dilater les molécules des corps, et par là de diminuer l'intensité de leur attraction, en changeant leurs distances respectives.

La chaleur, que nous connaissons d'abord par une sensation particulière, et dont nous nommons les graduations principales feu, chaleur, froid, a une grande influence dans la nature. Par sa diminution, presque tous les corps liquides, et même beaucoup de substances aériformes, se solidifient ; par son augmentation, presque tous les liquides, et même beaucoup de solides, deviennent aériformes : sans la chaleur, il n'y aurait aucune vie, aucune organisation ; enfin, l'emploi que nous en faisons pour nos besoins naturels ou artificiels est si variée, et d'une telle importance, que si l'usage du feu était retiré à l'homme, il serait rabaissé à l'état d'imperfection des animaux.

La cause de la chaleur échappe à nos sens ; les physiciens admettent pour principe de ces phénomènes une matière propre, appelée calorique.

Le premier effet de la chaleur que nous devons observer, c'est qu'elle dilate tous les corps, les solides assez peu, les liquides davantage, et les substances aériformes dans une proportion plus grande.

Ce phénomène a offert un moyen naturel et simple pour mesurer avec la plus grande exactitude les accroissements et les diminutions de la chaleur. Les instruments qui servent à cet usage se nomment thermomètres.

Le thermomètre le plus en usage aujourd'hui est le centigrade. Voici la description de ses parties essentielles : une petite boule de verre est soufflée au bout inférieur d'un tube de verre calibré, ensuite on chauffe cette boule, le tube étant ouvert afin de dilater l'air qu'il renferme, puis on le renverse et on le plonge par le bout dans du mercure, parce que l'air intérieur en se refroidissant se condense, et le mercure monte dans le tube par la pression hydrostatique de l'air extérieur ; quand le tube et une partie de la boule sont remplis de mercure, on retourne l'instrument, on le ferme à la lampe, et l'on plonge la boule dans l'eau bouillante ; le mercure monte jusqu'à un certain point constant, qu'on appelle point d'ébullition, et il demeure invariablement à ce point tant que la boule de verre reste dans l'eau bouillante ; ensuite on plonge la boule dans la glace fondante, le mercure baisse jusqu'à un certain point, où il reste invariablement fixé, tant

que la glace n'est pas entièrement fondue. Ce point se nomme point de congélation; la distance entre ces deux points est ensuite divisée en cent parties.

Nous avons déjà cité la dilatation par la chaleur comme une propriété générale des corps : nous avons vu que les thermomètres sont fondés sur cette propriété. Proposons-nous maintenant d'indiquer les moyens qui ont été employés pour mesurer les dilatations des différents corps, ou pour mesurer leur coefficient de dilatation, c'est-à-dire la fraction dont leur volume augmente pour une augmentation d'un degré de température; ce coefficient varie d'un corps à l'autre, il a la même valeur pour tous les gaz, mais chaque corps liquide ou solide a le sien.

On a commencé par étudier la dilatation absolue du mercure. Soit A B C D un tube, un système de deux vases cylindriques, communiquant par un tube B C très fin. On sait que les hauteurs des liquides de densités différentes qui font équilibre à une même pression sont en raison inverse des densités de ces liquides. Or, si on verse du mercure dans un vase ABCD, le liquide s'élèvera à la même hauteur dans les branches A B et C D s'il a partout la même température ; mais si la branche A B étant à la température t, la branche C D est portée à une température t' le mercure de cette partie du vase s'élèvera à une hauteur h' plus grande que h (fig. 19).

Si d' et d représente les densités du mercure aux températures t' et t, la pression p du liquide rapportée à l'unité de surface, et exercée sur le plan horizontal passant par l'axe du tube BC devant être la même sur tout ce plan, on aura

$$p = g\,h\,d = g\,h'\,d', \text{ d'où } h\,d = h'\,d'.$$

Un même poids P de mercure, occupant un volume V dans A B, où la densité est d, devra occuper dans D C, où la densité est d', un volume V' donné par l'équation $P = g\,V\,d = g\,V'd'$; on aura ainsi $V\,d = V'\,d'$, et d'après l'équation $h\,d = h'\,d''$ et $V : V' :: h : h'$, on tire $\frac{V'-V}{V} = \frac{h'-h}{h}$; mais $\frac{V'-V}{V}$ est la fraction dont l'unité de volume de mercure augmente quand sa température augmente, quand sa température de t devient t', cette fraction de la dilatation du mercure pour $(t' - t)$ degrés sera donc $\frac{h'-h}{h}$, et le coefficient de dilatation

$\frac{h' - h}{h(t' - t)}$; ainsi la recherche de ce coefficient se réduirait à mesurer exactement les hauteurs h et h', et les temperer t, t'.

Pour mesurer la dilatation du gaz on a employé un tube horizontal bien calibré, dans lequel on a placé une petite goutte de mercure, qui se deplaçait quand le gaz de l'intérieur de la boule changeait de volume en vertu de la chaleur qui lui était communiquée par un bain d'huile, dans lequel ce tube était placé (fig. 20).

La dilatation des solides peut se déduire de celles des liquides. Mais on peut employer un procédé particulier qui consiste à plonger la barre dont on veut étudier la dilatation, dans un milieu capable de la chauffer. Aux extrémités de cette barre se trouvent adaptées deux petites tringles rectangulaires qui se rapprochent ou s'éloignent en même temps que la barre se contracte ou se dilate, et en faisant concorder les extrémités de ces signes avec les divisions d'une règle bien gradué, on peut ainsi évaluer la dilatation des corps solides (fig. 21).

C'est en opérant comme on vient de l'indiquer que l'on a reconnu que le coefficient de dilatation absolue de mercure est de

$\frac{1}{5550}$ pour chaque degré de température entre 0 et 100.

Que la dilatation linéaire du verre est de $\frac{1}{1122}$, celle de fer de $\frac{1}{535}$.

Et qu'on a pu constater que le coefficient de dilatation est le même pour tous les gaz, et qu'ils se délivrent tous pour chaque degré de $\frac{1}{267}$ de leur volume à zéro.

Chaleur rayonnante. Sa réflexion. Sa transmission au travers de différents corps. Pouvoirs émissifs, absorbants et réfléchissants. Equilibre mobile de température. Réflexion apparente du froid

On donne en général le nom de température aux indications du thermomètre que nous avons décrit; on dit qu'elle s'élève

ou qu'elle s'abaisse quand le thermomètre employé constate une augmentation ou une diminution de volume de la matière qui le compose.

Quand des corps sont en présence et non à la même température, cet état d'inégalité ne persiste pas, et la différence des températures tend à s'effacer, à moins qu'elle ne soit entretenue par une cause constante Quand cette cause n'existe pas, tous les corps finissent par arriver à la même température; il y a alors équilibre de chaleur. Cet équilibre peut s'établir de deux manières : ou les corps sont séparés par un milieu, tel que l'air, ou ils se touchent. Dans la première, la chaleur se transmet à distance; dans la seconde, elle se communique par le métal.

La chaleur se transmet en effet à distance; car un corps très chaud, placé dans l air à une certaine distance, peut agir sur nos organes. Cette action ne dépend pas de la présence de l'air, car elle se manifeste encore quand une portion de l'espace qui nous sépare du corps chaud est vide de tout fluide pondérable. On peut prouver, d'ailleurs, que la chaleur se transmet dans le vide aussi bien qu'à travers les gaz.

On fixe un thermomètre au milieu d'un matras auquel est soudé un tube assez étroit, plus long que la hauteur de la colonne barométrique. Ce vase étant plein de mercure, et le tube dirigé verticalement de haut en bas, étant plongé dans un bain du même liquide, on soulève le matras jusqu'à ce que le tube ne plonge plus que d'une petite portion dans le bain; le matras sera alors vide de toute matière pondérable. On ramollit au chalumeau la soudure du tube et du ballon, et on les sépare en fermant toute communication, de l'intérieur du matras, avec l'air extérieur. Or, en plongeant ainsi le ballon détaché dans l'eau bouillante, on voit le mercure monter dans le manomètre, ce qui ne peut avoir lieu que par la transmission de la chaleur dans le vide; car on peut s'assurer que l'augmentation de température résultant de la communication par les parois et la tige du thermomètre ne serait pas sensible.

On appelle chaleur rayonnante celle qui se communique ainsi dans le vide, ou à travers les fluides élastiques qui s'opposent en partie à cette transmission, plutôt que de la favoriser. On donne le nom de rayon de chaleur à toutes lignes droites menées du corps chaud aux corps qu'il échauffe, ou à toutes les directions infiniment variées suivant lesquelles la chaleur peut se propager.

La chaleur se réfléchit à la surface des corps comme la lumière, en faisant un angle d'incidence égal à l'angle de réflexion, et de manière que le plan, passant par le rayon incident et le rayon réfléchi, est normal à la surface du corps réfléchissant. Pour vérifier cette loi, on place en regard l'un de l'autre deux miroirs sphériques MM M'M'. Si leurs centres CC' sont connus leurs foyers, FF', milieux des rayons AC, A'C', le seront pareillement. Or, en disposant un corps chaud en I, et un thermomètre en F', on voit le thermomètre monter; on peut même allumer de l'amadou placé en F' en mettant en I un réchaud contenant du charbon incandescent (fig. 22).

La chaleur, d'après ce que nous venons de voir, peut se transmettre à travers l'air. On peut constater sa transmission à travers les liquides en faisant tomber un liquide sous forme de lame, et le plaçant derrière un thermomètre et devant un foyer de chaleur; il est évident dans ce cas que l'élévation du thermomètre ne peut provenir que de la chaleur qui a passé à travers le liquide. On constate aussi la transmission à travers les corps solides en agitant une lame de verre entre un foyer de chaleur et un thermomètre.

En se servant pour corps échauffant de vases cubiques de différentes grandeurs contenant de l'eau chaude, et dont la face plane en regard du réflecteur est toujours perpendiculaire à son axe et de même nature, on trouve que ces vases, placés à la même distance et leur température étant la même, produisent sur le thermomètre des excès de température proportionnels aux surfaces par lesquelles ces vases émettraient la chaleur; d'où l'on doit conclure que la chaleur émise par un corps est proportionnelle à sa surface, ce qui est d'ailleurs évident.

La chaleur émise obliquement par la surface d'un corps chaud, varie proportionnellement au sinus de l'angle que sa direction fait avec la surface. Pour constater cette propriété, on place entre le réflecteur et un corps chaud à surface plane deux écrans parallèles verticaux placés à une distance convenable l'un de l'autre, et percés d'ouvertures égales dont les centres sont sur l'axe horizontal du réflecteur. Or, si on incline plus ou moins sur cet axe la surface plane émettant la chaleur, de manière toutefois que le cylindre, ayant pour base les deux ouvertures des écrans, ne puisse pas rencontrer, en le prolongeant, le périmètre de cette face plane inclinée; on trouve que dans tous

les cas le thermomètre à air indique la même température stationnaire.

Enfin, indépendamment de toute autre circonstance, on a reconnu que la nature de la substance qui termine la surface du corps chaud influe beaucoup sur la quantité de chaleur émise. Si le corps chaud à faces planes de l'expérience précédente est un cube dont les faces soient recouvertes de couches légères de substances différentes, on trouve que la face recouverte de noir de fumée laisse passer plus de chaleur que celle qui est recouverte d'une feuille de plomb, ou que celle qui est recouverte d'une feuille d'étain, etc.

Le pouvoir émissif varie, d'ailleurs, avec le poli de la surface.

Quand la chaleur rayonnante, émise par un corps chaud, arrive à la surface d'un corps froid, une partie est réfléchie, mais une autre portion est absorbée, perd sa faculté rayonnante, et échauffe le corps qu'elle pénètre. On a donné le nom de pouvoir absorbant à cette qualité des corps en vertu de laquelle, exposés aux faisceaux de rayons calorifiques, ils en absorbent une portion variable d'un corps à l'autre. Les rayons de chaleur qui ne sont pas absorbés étant réfléchis, réciproquement on doit regarder le pouvoir réfléchissant comme complémentaire du pouvoir absorbant; ce qui permet de déduire l'un de ces pouvoirs de la connaissance de l'autre.

Quand la température d'un corps reste stationnaire, on peut attribuer cet état d'équilibre à l'égalité qui existe entre la quantité de chaleur que le corps émet par le rayonnement et celle qu'il absorbe en s'appropriant la totalité ou une partie de la chaleur envoyée par les corps environnants et qui tombe sur la surface. L'expérience prouve qu'en substituant à ce premier corps d'autres corps de même forme et de même grandeur, ayant la même température, tous les corps conservent le même état d'équilibre, quoique leurs pouvoirs émissifs, absorbants et réflecteurs, soient très différents. Or, la quantité de chaleur envoyée par les corps environnants et qui tombe à la surface de ces différents corps dans une direction quelconque, étant constante, puisque les circonstances extérieures restent les mêmes, il faut nécessairement qu'il parte de chacun des corps éprouvés et dans une même direction une quantité de chaleur égale à celle qui arrive; il faut donc que les rayons de chaleur émis,

augmentés des rayons réfléchis, donnent une somme égale à cette quantité constante.

D'après ce qui précède, il est clair que, si dans un appartement dont la température est partout la même, on vient à placer deux miroirs sphériques en regard l'un de l'autre, si l'on dispose un thermomètre à l'un des foyers et de la glace à l'autre, le thermomètre devra baisser; car si l'on ôte la glace, d'après ce que nous avons établi, le thermomètre ne doit pas marcher; la quantité de chaleur qu'il reçoit étant égale à celle qu'il perd, et dans toutes les directions. Si donc on ajoute de la glace, la quantité de chaleur qu'il envoie n'étant plus égale à celle qu'il reçoit, il doit se refroidir et par suite baisser.

§ XIII. — *Conductibilité des corps pour la chaleur. Les corps diffèrent autant par leur propriété de conduire la chaleur, que par leurs autres propriétés. Avant de faire connaître les conductibilités particulières, nous indiquerons le résultat général.*

Soit une barre métallique exposée par une de ses extrémités à l'action constante d'un foyer. Partageons cette barre en un grand nombre de sections transversales; la section la plus voisine du foyer en prendra d'abord la température; la seconde section recevra sa chaleur de la première, et ainsi de suite; de sorte que si la barre est percée de trous assez grands pour contenir des réservoirs de thermomètres, on les verra monter successivement. Si nous considérons trois éléments A, A', A'', très voisins, l'élément intermédiaire A' recevra de la chaleur de l'élément A, le plus rapproché de la source, et en communiquera à l'élément suivant A''.

On voit d'après cela que si la barre n'éprouvait aucune déperdition de chaleur, chaque thermomètre monterait graduellement jusqu'à ce qu'il eût atteint la température du foyer; mais cela n'existe pas. La perte de chaleur a toujours lieu et par le rayonnement et par le contact du milieu.

Les thermomètres montent nécessairement moins vite que dans la supposition d'une perte nulle, et n'atteignent jamais la température du foyer; ils s'arrêteront quand la quantité de chaleur reçue par chaque section est égale à celle qu'elle perd par le rayonnement et par le contact de l'air. Alors l'état ther-

mométrique de la barre est devenu stationnaire, et la température de tous les thermomètres va en diminuant depuis l'extrémité en contact avec le foyer, jusqu'à l'autre. Les températures forment une série décroissante en progression géométrique, si les distances du foyer croissent en progression arithmétique.

On peut facilement reconnaître l'inégale conductibilité des métaux pour la chaleur en soudant plusieurs cylindres de même dimension perpendiculairement à un vase en fer-blanc dans lequel on place de l'eau chaude. Ces cylindres perpendiculaires à l'une des faces de la boîte étant préalablement recouverts de cire, on reconnaît par sa fusion quels sont les corps qui s'échauffent le plus vite.

Les métaux conduisent bien la chaleur ; les pierres, la porcelaine, le bois, la conduisent mal.

Les liquides conduisent très mal la chaleur, et la facilité avec laquelle l'uniformité de température s'établit pourrait être attribuée au transport des molécules. En effet, quand on chauffe les liquides, c'est toujours près la partie inférieure du vase qui les contient qu'on applique le foyer de chaleur; et alors les molécules inférieures en contact avec le vase qui lui-même est échauffé, deviennent plus légères et montent à la surface du liquide; tandis que celles de la surface, plus froides, descendent à la partie inférieure.

On a fait plusieurs expériences pour savoir si réellement l'eau était conductrice, ou si elle ne l'était pas du tout; mais ces expériences ne peuvent pas décider la chose, car jamais on ne saura si la conductibilité provient ou non d'un déplacement des molécules de l'eau. Ce qu'il y a cependant de certain, c'est que la conductibilité, si elle existe, est très faible; car, en plongeant un thermomètre dans de l'eau sur laquelle nage de l'éther enflammé, le thermomètre monte à peine.

Il est encore plus difficile de constater la conductibilité des gaz pour la chaleur, à cause de la mobilité de leurs molécules.

§ XIV. — *Passage de l'état solide à l'état liquide, et passage inverse de l'état liquide à l'état solide; chaleur latente, mélange réfrigérant.*

Les corps peuvent en général se présenter sous trois états: solide, liquide, gazeux; par exemple, le soufre, l'iode, le camphre,

sont solides à la température de la surface de la terre; mais, par une élévation de température plus ou moins grande, on les rend liquides et même gazeux.

Chaque corps change d'état à une température particulière : le soufre devient liquide à 109 degrés, et passe à l'état de vapeur a 300 degrés; la glace fond à zéro, et se volatilise à 100 degrés; la fusion du mercure a lieu à — 40 degrés, et la transformation en vapeur à + 360 degrés.

On croyait autrefois qu'il suffisait d'ajouter à un corps, parvenu à la température de sa fusion, une petite quantité de chaleur pour le faire fondre en totalité; mais depuis on a fait voir qu'un corps solide, au moment de sa transformation en liquide, absorbe une quantité de chaleur plus ou moins considérable, sans que pour cela la température en soit augmentée; et que si par une circonstance quelconque le corps liquide repasse à l'état solide, il abandonne la chaleur qu'il a absorbée pendant sa fusion.

On appelle latente la chaleur qui est absorbée dans le changement d'état d'un corps, et qui ne contribue pas à l'élévation de température.

Pour avoir une idée de la chaleur nécessaire à la fusion des corps, qu'on prenne deux ballons égaux en poids et en volume; qu'on mette dans l'un des ballons un poids déterminé de glace, et dans l'autre un poids égal d'eau; qu'on place les deux ballons, supposés à zéro, dans une étuve, et qu'on suive exactement la température du ballon primitivement plein d'eau à zéro; on verra qu'au moment où elle sera à 75 degrés, la glace de l'autre ballon sera totalement fondue, mais que la température sera restée sensiblement à zéro. Comme les deux ballons sont placés dans les mêmes circonstances, ils devront réunir la même chaleur dans le même temps; il résulte donc de là qu'un poids donné de glace exige, pour passer à l'état liquide, une quantité de chaleur capable de porter un pareil poids d'air de zéro à 75 degrés. On peut démontrer la même chose par le mélange d'une quantité quelconque de glace à zéro avec la même quantité d'eau à 75 degrés, l'on trouve que tout le mélange devient liquide et prend la température zéro.

Si, au lieu de prendre l'eau à 75 degrés, on prend, ce qui vaut mieux, de l'eau à quelques degrés au-dessus du milieu environnant, et qu'on la mélange avec une quantité de glace assez petite pour qu'elle fonde totalement, on déduira aisément de la tem-

pérature du mélange le nombre qui exprime la chaleur latente de la glace.

Soient M et T le poids et la température de l'eau, m le poids de la glace, t la température du mélange; $m t$ représentera la quantité de chaleur gagnée par l'eau provenant de la glace, M $(T - t)$, la chaleur perdue par l'eau mise avec la glace; ce premier produit est loin d'être égal au second; il faut ajouter à $m t$ la chaleur de fusion de la glace. Si x est la chaleur nécessaire à la fusion de l'unité de poids de glace, on aura $m x$ pour la chaleur totale de la masse m; et établissant l'équation de condition $m t + m x = M (T - t)$, on en tirera la valeur de la chaleur absorbée par la fusion de la glace, ou de tout autre corps solide qui doit reparaître dans le moment où le liquide reprend son état primitif. Parmi les différentes manières de rendre ce dégagement de chaleur manifeste, la suivante est une des plus simples: prenez un tube de cinq à six pouces de longueur, de $\frac{2}{3}$ de pouce de diamètre, rempli d'une dissolution de sulfate de soude saturée entre 30 et 40 degrés, et fermé après l'ébullition d'une portion du liquide. Cette dissolution peut être agitée sans qu'elle cristallise; mais si l'on brise l'extrémité effilée du tube, à l'instant même elle se prend en masse, et la chaleur dégagée est assez grande pour être sensible au toucher.

D'après ce qui précède, on voit donc qu'il est facile de produire des froids artificiels en faisant fondre des corps. Qu'on mêle, par exemple, une partie de sel marin avec une partie de neige; le tout devient liquide, et un thermomètre, plongé dans le mélange, peut s'abaisser jusqu'à 20 degrés au-dessous de zéro.

§ XV. — *Détermination des capacités par la méthode des mélanges et par la fusion de la glace.*

Dans l'état actuel des sciences, on ignore complétement les quantités absolues de chaleur renfermée dans les corps; on ne connaît pas même les rapports de ces quantités; tout ce que les recherches des physiciens ont appris sur ce sujet se borne à la connaissance du rapport des quantités de chaleur nécessaire pour que les principaux corps, pris sous la même masse, varient d'un nombre déterminé de degrés de l'échelle thermométrique. Ces

quantités, qui sont les capacités pour la chaleur ou les chaleurs spécifiques, sont très différentes.

Pour donner une idée de l'influence de la chaleur spécifique dans les expériences, il suffira de citer un exemple : si l'on mêle un kilogramme d'eau à zéro avec un kilogramme de fer à 11 degrés, le mélange ne marque que 1 degré, ce qui fait voir que la chaleur qu'abandonne le fer, et qui fait baisser la température de 10 degrés, n'élève la température de l'eau que d'un seul degré.

Il existe plusieurs méthodes par le moyen desquelles on parvient à connaître la chaleur spécifique.

Par les mélanges de deux corps à des températures différentes, on y parvient facilement : on emploie ordinairement l'eau et un autre corps dont on prend la température supérieure à celle de l'eau. Soient M la masse d'eau froide, C sa capacité, t sa température, m la masse du corps chaud, T sa température, C' sa capacité, et T' la température du mélange; la température de l'eau s'est élevée de $T'-t$. La quantité de chaleur absorbée par ce liquide peut être exprimée par $MC(T'-t)$; car il est clair que la chaleur nécessaire pour qu'un corps varie d'un certain nombre de degrés, est proportionnelle à sa masse et à sa capacité. La perte de chaleur éprouvée par le corps chaud peut aussi être représentée par $mC'(T-t')$; or le gain égale la perte; on aura donc l'équation $MC(T'-t)=mC'(T-T')$; d'où l'on tire $\frac{C'}{C}=\frac{M}{m}\frac{(T-t')}{(T-T')}$. Comme le second membre ne renferme que des quantités connues par l'expérience, on déduira facilement le rapport $\frac{C'}{C}$; et enfin si C est l'unité, comme on a coutume de le faire, les capacités des corps seront comparées à celle de l'eau prise pour unité.

On peut, au lieu de la méthode des mélanges, employer la fusion de la glace. On emploie pour cela le calorimetre, ou instrument formé de trois cavités circulaires et concentriques; l'une, qui occupe le centre, est destinée à renfermer le corps dont on désire connaître la chaleur spécifique; l'autre est remplie de glace, dont le corps fond une partie en se refroidissant; la troisième, la plus extérieure, est aussi remplie de glace, et défend celle qui entoure immédiatement le corps de l'action de l'air environnant; car l'air qui s'introduit dans le calorimètre arrive dans la seconde

cavité à la température zéro, puisqu'il a pris la température de la glace extérieure. On reçoit dans un vase particulier l'eau provenant de la glace fondue par le corps.

Ce procédé est fondé sur ce qu'un poids déterminé de glace prise à zéro exige, pour se fondre, la quantité de chaleur qu'abandonne un pareil poids d'eau prise à 75 degrés, en se refroidissant jusqu'à zéro; si donc on porte à 75 degrés des corps différents et de même poids, et qu'on les place successivement dans la petite cage C en fil de fer, les quantités de glaces fondues, comparées à celle que fond une masse d'eau prise à la même température, représenteront les chaleurs spécifiques (fig. 23).

Pour les corps liquides et pour ceux qui exercent une action chimique sur la glace, comme les acides, les sels, les alcalis, il faut les renfermer dans un vase qu'on a soumis d'abord à une expérience préliminaire pour connaître la glace qu'il fond seule.

§ XVI. — *Passage de l'état liquide à l'état de vapeur; formation des vapeurs dans le vide; maximum de leur force élastique; mesure de la force élastique; maximum à diverses températures; ébullition, chaleur calculée, condensation. Idée des principes sur lesquels repose la construction des machines à vapeur.*

Le premier effet de la chaleur sur la forme des corps solides, est de changer le volume; mais cette dilatation n'a lieu qu'à une certaine limite, au-delà il y a changement d'état, le corps fond, ou passe de l'état solide à l'état liquide. Un autre changement d'état s'observe encore quant aux pores. Un corps liquide a des températures continuellement croissantes; il se gazéifie ou se vaporise. L'existence des corps à l'état gazéiforme est alors manifesté par les effets qu'il produit et les forces mécaniques qu'il déploie. Ce qu'il importe de remarquer, c'est que la température à laquelle s'opère ce dernier changement d'état, dépend de la pression à laquelle le liquide est soumis. Si l'on prend un tube recourbé à branches inégales, la plus courte étant fermée et la plus grande ouverte, et que l'on introduise du mercure dans les deux branches et de l'éther au-dessus du mercure dans la plus petite, de manière à ce qu'elle soit remplie, et que le niveau de mercure soit le même que le fond supérieur de la branche finale, on observe, en plongeant cet appareil dans un

bain d'eau chaude, que l'éther change d'état ou se *gazéifie*, et qu'en outre le mercure monte dans la grande branche. Si d'abord le niveau du mercure dans la branche ouverte s'élève au-dessus du fond de la branche fermée, il faudra soumettre l'appareil à une température plus élevée pour faire passer le liquide à l'état de gaz, et cette température nécessaire sera d'autant plus grande que la colonne de mercure sera plus considérable, ou que la pression supportée par le liquide sera plus forte (fig. 24).

Pour mesurer la force élastique de la vapeur d'un liquide à différentes températures, on peut employer deux baromètres verticaux, plongeant dans une cuvette contenant du mercure. Si maintenant on enveloppe ces tubes d'un manchon en verre contenant de l'eau que l'on peut porter à différentes températures, et si l'on fait passer de l'eau ou un liquide dans l'un des baromètres, la chaleur de l'eau fera baisser le niveau du mercure, et l'on pourra, par la différence des deux mercures, juger de la force élastique de la vapeur qui se trouve dans la branche barométrique (fig. 25).

On dit qu'un liquide est en ébullition quand on voit se former, dans l'intérieur de sa masse, des bulles de vapeur; or, ces bulles de vapeur font équilibre à l'atmosphère qui presse sur le liquide, par conséquent le point d'ébullition d'un liquide doit varier avec la pression barométrique.

La chaleur qui passe d'un foyer dans un liquide en ébullition, dont la température reste fixe tant que la pression extérieure ne varie pas, est absorbée par le changement d'état du liquide, et employée à le gazéifier. Pour évaluer la chaleur calculée qui disparaît dans cette circonstance, on cherche la quantité de chaleur qui peut être restituée par la vapeur quand elle repasse à l'état liquide, et pour cela on fait arriver la vapeur formée dans un serpentin qui traverse un vase plein d'eau froide.

D'après ce qui précède, il est facile d'entendre les principes sur lesquels repose la construction des machines à vapeur.

Concevons un gros cylindre en fonte dans lequel peut se mouvoir un piston. Si l'on suppose ce cylindre fermé hermétiquement à ses bases, et si l'on fait arriver au-dessous du piston supposé, au bas de sa course, un jet de vapeur dont la force élastique est de plusieurs atmosphères, le piston remontera s'il ne rencontre aucune résistance; une fois arrivé au haut de sa course, si l'on permet à la vapeur introduite de s'échapper et si

en même temps on fait arriver de nouvelle vapeur au-dessus du piston, celui-ci redescendra; on pourra donc ainsi lui faire exécuter un mouvement de va et vient. Examinons maintenant comment on peut faire arriver et disparaître à volonté la vapeur dans le corps de pompe. En adaptant à la partie supérieure deux petits tubes munis de robinets, en ouvrant l'un d'eux, celui désigné par A, par exemple, on pourra permettre à la vapeur d'entrer; si en même temps on ouvre le robinet A B', la vapeur entrera par A et le piston remontera en chassant l'air qui s'échappera par le robinet B'. Une fois arrivé en haut de sa course, les robinets A et B' seront fermés, et les robinets A' et B ouverts, alors la vapeur entrera par A' et le piston descendra en chassant la vapeur par le robinet B. Mais comme le piston pourrait être relenti dans son mouvement par la vapeur qui ne s'échappe pas assez vite, on fait communiquer le tuyau B et le tuyau B' avec des réservoirs d'eau froide. Aussitôt que la vapeur est en contact avec l'eau froide, elle se liquéfie sur-le-champ; de sorte que le piston n'éprouve plus d'autre résistance à se mouvoir que le frottement contre la paroi du tube (fig. 26).

§ XVII. — *Dans le mélange des vapeurs avec les gaz les forces élastiques s'ajoutent; hygrométrie; sources de chaleur et de froid.*

Dans le mélange d'une vapeur et d'un gaz, la force élastique de la première s'ajoute à celle du gaz mélangé. Ce fait peut se démontrer de la manière suivante. On prend un tube de verre cylindrique A B, divisé en parties de capacités égales, et muni à ses deux extrémités de deux robinets en fer R et R'. A quelques lignes au-dessus du robinet inférieur est adapté un tube de verre recourbé *ab*, de deux à trois lignes de diamètre; on remplit de mercure récemment bouilli l'appareil séché avec soin. Cela fait, on visse en R une vessie remplie d'air, on établit la communication entre le tube et la vessie, on ouvre en même temps le robinet R', le mercure s'écoule, le gaz de la vessie entre dans ce tube; on ferme les deux robinets, quand le volume de gaz, dans le tube, est dilaté; on lui donne bientôt l'élasticité de l'air extérieur en versant du mercure par le tube *a b* jusqu'à ce que le niveau soit établi dans les deux tubes.

Il s'agit maintenant d'introduire le liquide ou le gaz d'une manière tout-à-fait certaine, par un petit artifice que voici : le robinet supérieur est échancré comme le montre le dessin V ; on remplit du liquide un petit entonnoir fixé au robinet R'; si l'on tourne ensuite le robinet, une certaine quantité de liquide tombe; on recommence jusqu'à ce que quelques gouttes de liquide apparaissent sur les parois.

On reconnaît, en faisant l'expérience, que le premier effet de la présence du liquide dans le tube est d'augmenter l'élasticité du gaz; mais cet effet n'est pas instantané à cause de l'obstacle qu'oppose le gaz à la formation de la vapeur. La force élastique du mélange intérieur est maintenant plus forte que la pression extérieure. Le mercure dans la plus petite branche est au-dessus du niveau; dans la grande branche on laisse écouler du mercure par le robinet inférieur jusqu'à ce que le niveau soit rétabli; nous supposons toujours que, malgré l'accroissement de volume, il y ait du liquide en excès; on le reconnaît en y introduisant une nouvelle quantité; s'il y en a un excès, l'addition de cette nouvelle quantité ne forme pas de vapeur, et n'aurait pas la force élastique de la vapeur qui s'est formée dans le gaz (fig. 27).

La force élastique du gaz était, au commencement de l'expérience, égale à la pression extérieure que nous représenterons par H; le gaz alors occupait un certain nombre N de divisions des tubes, il en occupe maintenant un plus grand nombre V'; sa force élastique a changé, d'après la loi de Mariotte, en raison inverse des espaces où il est étendu; elle est donc actuellement $\frac{VH}{V'}$. On connaît par les tables la force élastique f de la vapeur dans le vide a la température de l'expérience; représentons-la par f. Si elle est la même dans les gaz, elle devra satisfaire à l'équation $\frac{VH}{V'}+f=H$; c'est en effet ce qu'on trouve. Il résulte de là qu'une vapeur, en se mêlant à un gaz, conserve la tension qui lui est propre; ainsi dans le mélange du gaz et des vapeurs, comme dans le mélange des gaz entre eux, chacune des parties conserve la force élastique qu'elle possèderait si elle était isolée à la température et sous le volume actuel.

Dans le temps où l'air paraît le plus sec, il renferme beaucoup de vapeur; pour la ramener à l'état liquide on n'a qu'à

remplir un vase d'un mélange de glace et de sel, et bientôt presque toute la vapeur aqueuse contenue dans l'air se déposera sur les parois du vase à l'état de glace. Dans la plupart des circonstances il suffit même de placer dans l'air une carafe remplie d'eau froide, pour qu'elle se couvre d'humidité au bout de quelques minutes.

Si l'air était complétement saturé de vapeurs d'eau, on pourrait par des tables en connaître la quantité. On peut toujours par des expériences directes déterminer la quantité absolue de vapeur contenue dans l'air, quel que soit son degré de saturation. Pour cela, il suffit de le mettre en contact avec un poids connu de chlorure de calcium. Ce procédé est susceptible d'une grande précision. On se propose, dans l'hygrométrie, non pas de connaître d'une manière absolue la quantité d'eau contenue dans l'air, mais seulement son degré d'humidité. Nous verrons d'ailleurs que sans expérience et seulement avec la connaissance du degré de l'hygromètre et du thermomètre, on parvient au même résultat définitif que par des expériences très longues et très pénibles. Toutes les substances exposées à l'air libre changent dans leurs dimensions et dans leur poids; ainsi les cordes à boyaux employées dans les instruments de musique, changent de tension et de ton; le verre lui-même augmente de poids.

On pourrait donc avec ces différentes substances reconnaître le plus ou moins grand degré de l'humidité de l'air.

Un des hygromètres les plus en usage, c'est celui à cheveu.

Un cadre métallique dont on néglige les dilatations par la chaleur, comme incomparablement plus petites que les changements de dimension qu'il s'agit d'observer, présente à sa partie supérieure une pince dans laquelle est fixé le cheveu dont l'autre bout est attaché à la gorge d'une poulie; vers le bas du cadre, un poids de 2 à 3 grains est aussi attaché à la même gorge, de manière à tendre constamment le cheveu; avec la poulie se meut une aiguille dont l'extrémité indique sur un cadran si le cheveu s'allonge ou se raccourcit (fig. 28).

Pour graduer l'instrument, on le place d'abord sous une cloche contenant de l'air et une substance déliquescente calcinée, qui absorbe l'humidité du récipient. L'aiguille de l'hygromètre descend d'abord très rapidement, son mouvement se ralentit ensuite, mais elle n'atteint une position stationnaire qu'au bout de trois jours. On marque alors sur le cadran, au point où l'aiguille

s'arrête, le zéro de l'hygromètre. Pour s'assurer si ce point correspond réellement au point de sécheresse extrême, il est bon de présenter la cloche aux rayons solaires; si le cheveu contenait encore de l'humidité, l'action dissolvante de l'air augmentant avec sa température, l'aiguille descendrait encore.

On place ensuite l'hygromètre dans un vase à parois mouillées, et dont l'air est bientôt saturé d'humidité, laquelle monte et devient stationnaire au bout d'une heure; on marque 100 au point où s'arrête la pointe de l'aiguille. L'arc compris entre 0 et 100 se divise en 100 parties. On remarque que, quand cet instrument est gradué avec soin, il marque les mêmes indications quand il est placé dans les mêmes circonstances.

L'état hygrométrique de l'air et le rapport qui existe entre la quantité d'eau qu'il contient réellement et celle qu'il contiendrait s'il en était saturé à la température à laquelle il se trouve, ou, ce qui est la même chose, c'est le rapport des forces élastiques des vapeurs correspondantes ; or les degrés de l'hygromètre ne sont pas proportionnels aux états hygrométriques de l'air. La relation qui existe entre ces deux espèces de quantités a été cherchée par plusieurs séries ; et on a pu aussi former des tables qui donnent l'état hygrométrique de l'air correspondant au degré de l'hygromètre.

Parmi les principales sources de chaleur on doit remarquer particulièrement l'action du soleil, la percussion, le frottement. La compression dans les gaz développe une chaleur très considérable, et par suite la dilatation peut produire de très grands froids. Les moyens lé plus en usage pour obtenir du froid, sont les mélanges réfrigérants que l'on forme généralement en employant deux corps solides qui ont une action chimique l'un sur l'autre, qui les rend capables de passer à l'état liquide : le sel marin et la neige. Il suffit souvent qu'un seul corps soit liquide : l'eau et le chlorure de calcium. Mais il n'y a pas toujours froid produit : quand un corps solide est mis en contact avec un corps liquide, il y a là l'action chimique qui dégage de la chaleur, et suivant que le froid produit par la dissolution ou la chaleur produite par l'action chimique est en excès, il y a ou froid ou chaleur produite.

CHAPITRE V.

ÉLECTRICITÉ.

§ XVIII. — *Développement de l'électricité par le frottement. Corps conducteurs et non conducteurs. Expériences sur lesquelles est fondée l'hypothèse des deux fluides.*

Les phénomènes électriques dépendent d'une cause encore plus mystérieuse que la chaleur: on ne connaît aucune circonstance dans laquelle un corps soit dépourvu de chaleur; mais il n'en est pas de même de l'électricité; les phénomènes électriques sont passagers, et ne se manifestent que dans des circonstances que l'on fait naitre à volonté; ils ont d'abord été observés quand, après avoir frotté avec la main ou de la laine certaines substances, comme l'ambre, la résine, le verre, on remarquait que ces corps attiraient des corps légers, tels que de petits morceaux de papier ou de barbes de plume; cette propriété ayant été observée pour la première fois très anciennement sur l'ambre, dont le nom grec est *electron*, on a appelé électricité la théorie physique dont cette propriété fait partie.

Les corps précédemment cités furent d'abord les seuls qui manifestaient les propriétés électriques; d'autres, tels que les métaux, n'en donnaient aucun signe quand on les frottait. On avait divisé les corps en deux classes : les corps non électrisables et les corps électrisables; mais on reconnut plus tard que les corps non électrisables étaient simplement conducteurs, et les corps électrisables non conducteurs.

Si l'on dispose, en effet, deux cylindres, l'un en verre, l'autre en métal, et terminés par un manche isolant, par exemple, en cire à cacheter, on remarque, en effet, que le cylindre de métal s'électrise en ayant soin de le tenir par le manche; ou si l'on veut, en touchant avec un corps électrisé un morceau de métal,

il devient apte à attirer des particules de papier ou de barbe de plume dans toute son étendue.

Cette expérience prouve que l'électricité se répand sur toute la surface métallique, ou si l'on veut, qu'il est conducteur; tandis que si l'on touche un morceau de verre avec un corps électrisé, il n'y a que la partie touchée qui devient apte à exercer une attraction.

Au lieu de se servir de barbe de plume, il est préférable d'employer une petite balle de moelle de sureau, suspendue à un fil de soie; on peut attirer la balle de sureau comme on le fait pour le morceau de papier.

Enfin si l'on électrise un morceau de verre par le frottement avec la laine, et qu'on touche la petite balle, on l'électrise, et la balle s'éloigne quand on veut approcher le morceau de verre. Si l'on frotte au contraire un morceau de résine contre de la laine, et qu'on l'approche de la balle de sureau déjà électrisée par le verre, on remarque qu'elle est attirée fortement. On conclut de cette expérience qu'il existe deux sortes d'électricité : l'une que l'on appelle résineuse, l'autre vitrée; et que les électricités de même nom se repoussent, tandis que celles de nom différent s'attirent. On distingue souvent les deux fluides par les noms de fluide positif et de fluide négatif.

§ XIX. — *Électricité par influence. Électroscopes, électrophore. Machines électriques.*

Nous avons dit que les corps électrisés ont une action les uns sur les autres; mais cette action a encore lieu quand l'un d'eux seulement est électrisé.

On admet que tous les corps de la nature possèdent les deux électricités en quantités égales et à l'état de combinaison, en sorte que les effets de l'une sont neutralisés par ceux de l'autre, et que leur effet total est nul. Cette combinaison des deux électricités est appelée électricité naturelle ou neutre; sa valeur est en quelque sorte nulle relativement aux phénomènes d'attraction ou de répulsion électriques. Ce qui vient à l'appui de cette hypothèse, c'est que nous voyons qu'en approchant un corps électrisé d'un corps conducteur, on décompose les deux électricités. Suspendons deux petites balles de sureau aux extrémités d'un corps conducteur isolé, et approchons un corps électrisé de ce con-

ducteur ; nous voyons à l'instant ces petites balles diverger, et il nous est facile de voir qu'elles sont chargées d'électricités différentes. L'électricité de nom contraire au corps électrisant le porte vers la partie de l'appareil la plus voisine du corps électrisant, c'est le contraire pour l'autre. Ainsi il est maintenant établi qu'un corps à l'état naturel renferme les deux électricites, et que ces électricités se trouvent en partie séparées, quand on approche de ce corps isolé un corps électrisé (fig. 29).

D'après ce principe, on a fondé un petit instrument très commode pour indiquer la présence de l'électricité, c'est l'électroscope; il se compose de deux balles de sureau attachées à des fils d'argent communiquant à un disque de métal, l'appareil est du reste isolé au moyen d'une petite bouteille qui sert à la fois de support et de préservateur contre les corps étrangers. Pour savoir si un corps est électrisé, il suffit de l'approcher de l électroscope; car s'il l'est réellement, les balles divergent à l'instant (fig. 30).

Cet instrument sert encore à distinguer les deux électricités; car si l'on approche un morceau de verre frotté sur la laine, et qu'on touche en même temps le disque avec la main, et qu'on la retire avant que d'éloigner le morceau de verre, les balles continuent à rester écartées; car, en touchant, on a permis à l'électricité du verre de s'échapper, tandis que celle qu'il attirait n'a pu s'éloigner. On a donc dans l'appareil de l'électricité de nom contraire à celle que donne le verre dans son frottement avec la laine. Approchons, pendant que l'appareil est dans cet état, un morceau de résine électrisée avec la laine, on voit les balles se rapprocher; car comme ces balles ne se tiennent éloignées que parce qu'elles sont chargées d'électricité résineuse, quand on approche de la résine électrisée, on électrise le système vitreusement, et par conséquent on détruit l'électricité résineuse, ce qui permet aux balles de se rapprocher.

L'électrophore est encore un instrument fondé sur les effets d'influence produite par l'électricité (fig. 31).

Il se compose d'un gâteau de résine, d'une lame métallique supportée à son centre par un manche isolant.

Pour s'en servir, on frotte avec une peau de chat le gâteau; quand la résine est suffisamment électrisée, on place le disque de métal sur celui de résine, son electricité naturelle est décomposée; l'électricité vitrée est attirée, l'autre est repoussée, de telle sorte qu'en touchant le disque de métal avec la main ou avec un corps conducteur, en l'enlevant ensuite par le manche, on a

un disque fortement chargé d'électricité vitrée. On peut en tirer une étincelle, et recommencer ainsi de suite une vingtaine de fois ; il faut alors recommencer à frotter le gâteau.

Mais ce moyen n'est pas le plus commode que l'on ait à sa disposition pour se procurer de l'électricité ; il existe des machines, dites électriques, qui sont bien préférables. Elles se composent d'une roue en verre, tournant sur un axe fixe, et frottant contre des coussins de cuir, et d'un ou deux cylindres isolés et horizontaux, qui viennent s'appuyer contre la roue en se terminant en petites pointes. On voit dans la machine électrique un véritable électrophore dans lequel on recueille l'électricité, en même temps que l'on frotte, pour électriser le corps isolant, le plateau de verre ou le gâteau de résine.

§ XX. *Loi des attractions et des répulsions électriques, distribution de l'électricité sur des corps conducteurs, pouvoir des pointes.*

Pour pouvoir donner une théorie des phénomènes électriques, il est essentiel de chercher d'abord la loi que suivent les attractions et les répulsions électriques. Ces forces s'exercent à des distances considérables. On peut consulter l'expérience pour chercher la relation qui existe entre les intensités de ces forces et les distances auxquelles elles agissent ; ces forces sont trop petites pour pouvoir être évaluées au moyen de la pesanteur ; mais on peut les mesurer au moyen de la balance de Coulomb, en leur opposant la force de torsion dont la loi est connue.

La balance de Coulomb, appliquée à l'électricité, se compose d'abord d'une grande cage de verre qui doit contenir de l'air très sec. L'air humide ayant la propriété de décharger très brusquement les corps électrisés. Dans cette cage se trouve une boule métallique ou de papier doré verticale et isolée par une tige de gomme laque, suspendue horizontalement à l'extrémité d'un fil de laiton qui occupe l'axe de la cage, et qui doit donner la force de torsion convenable pour faire équilibre aux forces qu'on veut mesurer.

La paroi latérale de la cage porte des divisions angulaires sur une section horizontale, dont le plan contient le centre de la boule, celui du disque, et l'axe du cylindre de gomme laque. Pour électriser le disque de clinquant on emploie une petite

boule métallique attachée aussi à un morceau de verre. Quand l'appareil ne fonctionne pas, cette petite boule touche le clinquant; pour faire aller l'appareil, on enlève par le manche de verre cette petite boule, on l'électrise et on la replace dans l'appareil, le disque s'électrise et est repoussé. Le fil de suspension se tord et oppose de la résistance à la répulsion, de sorte que le clinquant s'arrête à une petite distance de la boule de cuivre; on examine à quelle position s'arrête l'aiguille; si l'on trouve, par exemple, quelle ait marché de 20 degrés, on tord l'aiguille au moyen d'une pièce A liée fortement qui se meut sur la partie fixe B, comme un couvercle de tabatière se meut sur sa boîte. Au moyen d'une graduation effectuée d'avance, on peut s'assurer de combien de degrés on tord le fil, de sorte que si l'on veut faire rapprocher le disque jusqu'à la distance de 10 degrés, par exemple, on peut évaluer le degré de torsion du fil, et comme cette torsion fait équilibre à la force répulsive, elle lui est égale, on peut donc mesurer l'une par l'autre. C'est ainsi que l'on reconnaît que les répulsions sont en raison inverse du carré de la distance; car l'on sait aussi que la force de torsion est proportionnelle au nombre de degrés parcourus, c'est-à-dire que si pour tordre un fil de 10 degrés, par exemple, il faut une certaine force, il en faut une double pour le tordre de 20. La force attractive peut se mesurer avec le même appareil. Seulement au lieu de commencer par faire coïncider le disque et la boule, on les électrise séparément en ayant soin de ne pas les faire coïncider lorsqu'on met la boule en place.

C'est avec cet appareil que l'on a pu étudier la distribution de l'électricité à la surface des corps, car, en prenant un très petit disque, la quantité d'électricité qu'il enlève à un corps, quand il le touche, est peu considérable par rapport à la quantité totale répandue sur la surface du corps où l'on étudie la distribution. si, de plus, on admet que la charge qu'il prend est proportionnelle à celle qui a lieu dans la place qu'il touche, on peut évidemment avoir des idées exactes sur la distribution de l'électricité à la surface des corps. C'est ainsi que l'on a pu reconnaître que la charge de l'électricité sur un ellipsoïde électrisé et isolé variait suivant les différents points de la surface, et que la charge était la plus forte vers les extrémités des grands axes, et d'autant plus grande que ces extrémités étaient plus allongées, de sorte que le corps se terminant en pointe, sa charge deviendrait très grande dans cette partie; mais elle ne peut cependant pas s'accroître

indéfiniment, car l'air qui s'oppose au départ de l'électricité ne peut plus lui faire équilibre et il s'échappe. On a tiré partie de cette propriété, l'invention du paratonnerre repose sur ce principe: quand un nuage électrisé passe dans le voisinage d'un paratonnerre, l'électricitédu sol est décomposée par influence, et une partie s'échappe par la pointe pour aller recomposer celle du nuage.

§ XXI. — *Électricités dissimulées, condensateurs, bouteille de Leyde, batteries électriques.*

Au moyen de l'électricité par influence il est encore possible d'expliquer plusieurs phénomènes remarquables, par exemple celui de l'électricité dissimulée. Que l'on imagine, en effet, une feuille de verre recouverte des deux côtés de feuilles d'étain, si l'on vient à électriser l'une des faces en tenant, du reste, l'appareil isolé, il ne se passera rien de l'autre côté; mais si l'on fait communiquer l'autre face par un corps conducteur avec le sol, son électricité se décomposera en deux parties; l'une s'en ira, et l'autre restera attirée, de sorte que, si l'on saisit la feuille d'étain, et qu'on l'isole avant de permettre la communication d'une feuille à l'autre, par un corps conducteur, et qu'on vienne à toucher une des feuilles, on recevra une petite étincelle; si l'on touche ensuite l'autre, il en sera de même, et ainsi de suite un grand nombre de fois; mais si l'on vient à faire communiquer les deux lames, alors toute la masse des deux électricités agira en même temps; elles se réuniront en produisant une très vive étincelle, et si la réunion a lieu en passant à travers une partie du corps de l'opérateur, celui-ci ressentira une commotion très vive.

La bouteille de Leyde est en tout semblable à la feuille de verre étamé, et n'en diffère que par la forme; les effets sont, du reste, les mêmes. Pour disposer une bouteille de Leyde, on prend ordinairement de l'or en feuilles très minces que l'on place dans la bouteille, ou mieux, on colle à sa partie intérieure une feuille d'étain, quand la largeur du goulot peut le permettre. On en colle aussi une autre à la partie extérieure, en ayant soin toutefois de laisser à nu le col de la bouteille, au moins à l'extérieur; et pour pouvoir la charger plus facilement, on adapte un bouchon à la bouteille que l'on perce avec une tige de métal,

se terminant à l'extérieur par un bouton métallique, la pointe doit d'ailleurs être mis en contact avec la paroi métallique interne de la bouteille.

On appelle batterie électrique un assemblage de plusieurs bouteilles de Leyde qui ont leurs armatures internes en communication, et leurs armatures externes aussi en rapport, sans qu'aucune portion de l'intérieur ne communique à l'extérieur au moyen de conducteur.

CHAPITRE VI.

GALVANISME.

XXII.—*Développement de l'électricité par le contact, principes sur lesquels repose la construction de la pile voltaïque, modification de cet appareil, effets qu'il produit.*

Si après avoir pris deux disques, l'un de cuivre et l'autre de zinc, isolés par des manches de cuivre, on les met en contact et l'on porte ensuite l'un des deux disques, celui de cuivre, par exemple, sur le plateau collecteur de l'électromètre condensateur; si l'on répète cette expérience un certain nombre de fois, on trouve de l'électricité positive dans l'électromètre après avoir enlevé le plateau supérieur du condensateur, et le conducteur qui établit la communication entre le sol et le plateau inférieur, ce qui fait voir que le cuivre était chargé de l'électricité négative. Le zinc eût donné une électricité de nature opposée; car, dans le contact comme dans un mode quelconque de développer l'électricité, les deux fluides sont toujours produits à la fois. On peut se dispenser d'établir la communication entre le sol et le plateau inférieur du condensateur, pourvu qu'on touche à la fois chaque plateau par l'un des disques.

On pourrait penser que la production de l'électricité est une suite de la pression établie entre le zinc et le cuivre; on prévient cette objection en soudant les deux métaux ensemble; si l'on touche ensuite le plateau supérieur du condensateur, que nous

supposons en cuivre rouge, par la partie de cuivre, on trouvera l'électromètre chargé de fluide positif; si l'on fait l'expérience en tenant cette double lame par le cuivre, et en mettant le zinc en contact avec le plateau du condensateur, on ne trouve aucune quantité d'électricité dans l'électromètre; cependant la pression est la même dans les deux cas : dans la première expérience, les deux disques étant isolés, doivent chacun retenir des quantités de fluides électriques parfaitement égales et de nature contraire, le condensateur sera chargé par l'un ou l'autre disque. Mais dans la seconde expérience, l'un des deux disques étant en communication avec le réservoir commun, se met dans l'état naturel, l'autre disque peut se recouvrir d'une quantité d'électricité plus considérable. C'est absolument la même chose pour la machine électrique dont les conducteurs et les plateaux de verre se recouvrent d'une quantité d'électricité bien plus grande quand les coussins communiquent avec le sol que quand ils sont isolés.

Si le disque de cuivre touche le plateau supérieur du condensateur, une portion du fluide positif qui le recouvre se portera sur le plateau, sa tension électrique diminuée la lame zinc fournira, par le secours du sol l'électricité nécessaire pour le remettre dans son état primitif, de sorte que, si le plateau inférieur de l'électromètre condensateur communique avec le sol, cet instrument enlèvera l'électricité au disque cuivré jusqu'à ce que la tension électrique soit la même et sur le plateau supérieur, et sur le disque qu'il touche; le résultat sera bien différent si le cuivre communique avec le sol et si le zinc touche le plateau du condensateur. Quelque prolongé que soit le contact, l'électromètre ne donnera pas le plus petit signe d'électricité.

Cette expérience est tout-à-fait d'accord avec la précédente. En effet, l'électricité négative du cuivre s'écoule dans le réservoir commun : l'électricité positive qui recouvre le zinc augmente jusqu'à ce que l'équilibre soit établi. Cet équilibre ne sera nullement changé si une seconde lame de cuivre touche la lame zinc, c'est le cas de la troisième expérience. Ainsi le plateau supérieur restera dans l'état naturel; il en sera de même de l'électromètre.

Nous avons supposé dans ces deux dernières expériences le plateau supérieur du condensateur formé de cuivre pur, complètement identique avec la lame cuivre du petit système qui nous a servi pour développer l'électricité par le contact.

L'électromètre se chargera dans cette dernière expérience si

le point du plateau en cuivre du condensateur, que doit toucher la lame de zinc, est recouvert d'une feuille de papier humide, ou de tout autre corps semblable ; alors le contact n'existant plus entre le cuivre et le zinc, le fluide positif développé sur ce dernier métal se répandra dans le plateau supérieur du condensateur, et l'électromètre sera chargé d'électricité négative. Cette remarque est importante pour la théorie de la pile.

Il est facile maintenant d'entendre la construction de la pile. Supposons qu'on place un disque de zinc sur un des disques de cuivre de pareille forme, en communication avec le sol. Ce dernier disque sera dans l'état naturel. Le disque de zinc se recouvrira de fluide positif. Représentons la quantité par la lettre e. Plaçons sur le disque zinc un cercle de carton mouillé, et sur ce carton un second disque de cuivre c' ; le zinc partagera son électricité avec le disque c', et en reprendra au disque inférieur C, qui en reprendra lui-même au sol. Il est visible que le partage ne s'arrêtera que quand le disque de cuivre c' aura aussi une quantité e de fluide positif; tout celà est d'accord avec les expériences fondamentales. Plaçons un second disque zinc z sur le disque cuivre c'. Les deux métaux agissent toujours de la même manière quel que soit leur état, il en résulte que la lame zinc z' devra se recouvrir d'une quantité C d'électricité de plus que la lame cuivre c', qui en contient déjà. Ainsi, la lame zinc z' se charge de deux e de fluide positif. En continuant les superpositions, on voit que la dernière lame zinc contiendra $n\,e$ de fluide positif, et la dernière lame cuivre $n\,e - e$; quand on représente par n le nombre des paires.

Il est nécessaire de distinguer ce qui est hypothétique de ce que nous savons par l'expérience ; d'abord nous regardons l'influence du conducteur humide comme à peu près nulle. Cette supposition est peu éloignée de la vérité; car jusqu'à présent il a été reconnu que l'électricité développée dans le contact des liquides et des solides, quand il n'y a pas action chimique, est extrêmement faible.

On admet ensuite que les différences entre les quantités de d'électricité des deux métaux en contact est toujours la même. Il paraît, en effet, qu'il en est ainsi. Ainsi l'on trouve que l'intensité du sommet de la pile croît avec le nombre des disques. Chaque disque est appelé élément; l'assemblage de deux éléments a reçu le nom de pa re.

La pile que nous venons de construire est totalement chargée

d'électricité positive ; si l'extrémité zinc eût communiqué avec le sol, elle n'aurait été chargée que d'électricité négative.

On peut aussi laisser la pile isolée par ses deux extrémités ; une moitié possède alors de l'électricité positive, l'autre moitié n'a que de l'électricité négative.

La condition à laquelle doit satisfaire une pile isolée, c'est que toutes les quantités d'électricités des différents éléments étant réunies se détruisent, parce qu'elles proviennent de la décomposition d'une portion de l'électricité naturelle de cette pile opérée sans le concours des corps environnants.

Soient deux éléments isolés, le disque zinc z aura $+\frac{e}{2}$ d'électricité positive, et le disque de cuivre aura la même électricité négative que nous exprimerons par $-\frac{e}{2}$; si nous ajoutons une seconde paire en la séparant de la première par un cercle de carton mouillé, cette pile devra satisfaire à la condition de donner une somme nulle quand on réunit toute l'électricité développée. Cette pile de quatre éléments aura à son extrémité le zinc $+e$ d'électricité positive, à son extrémité, le cuivre, $-e$ d'électricité négative. Les deux éléments du milieu seront dans l'état naturel. Cette pile que nous venons de décrire est appelée pile à colonne, on la remplace par d'autres qui sont plus commodes. La pile à auge est formée d'une série de paires placées parallèlement dans une auge en bois, et de telle manière que chacune d'elles forme avec celle qui la suit une petite boîte dans laquelle on peut placer un liquide conducteur. La pile de Wollaston se compose d'une série de couples, plongeant dans des bocaux séparés communiquant extérieurement au liquide. Chaque couple se compose d'une plaque de zinc, enveloppée par une feuille de cuivre, qui ne la touche cependant pas dans le liquide (fig. 32 *bis*).

On a tiré de la pile plusieurs services, c'est par elle qu'on est parvenu à reconnaître que la potasse et les terres alcalines n'étaient pas des corps simples, que l'on a décomposé l'eau, etc.

CHAPITRE VII.

MAGNÉTISME.

§ XXIII. — *Attraction qui s'exerce entre l'aimant et le fer ; expériences par lesquelles on reconnaît qu'il y a toujours au moins deux pôles dans un aimant ; expériences sur lesquelles est fondée l'hypothèse des deux fluides magnétiques.*

La théorie physique des aimants, à laquelle on donne le nom de magnétisme, est encore peu avancée. L'action que le globe terrestre exerce sur les aimants paraît dépendre de sa constitution intime. Cette circonstance jette une grande obscurité sur ces phénomènes.

Les premiers faits magnétiques qui aient été remarqués sont les attractions que les aimants naturels et certains morceaux de fer exercent sur le fer lui-même ou sur la limaille de ce métal. On observa plus tard que les corps aimantés suspendus librement prenaient une direction particulière.

Tous les corps ne sont pas sensibles à l'action magnétique. Si on ne considère que les corps en repos, trois métaux, le fer, le nikel et le cobalt manifestent seuls cette propriété, c'est-à-dire qu'ils obéissent aux attractions de certains morceaux de mine de fer qu'on appelle aimants naturels qui ne diffèrent pas, quant à leur composition, des autres minéraux de fer, mais qui paraissent devoir leur magnetisme à leur séjour dans l'intérieur du globe où ils se trouvent posés d'une certaine manière par rapport à l'axe de la terre.

Tous les oxides de fer naturels sont plus ou moins magnétiques. Plongés dans la limaille de fer, ils en emportent une partie quand on les soulève. La limaille qui reste ainsi attachée à l'aimant est plus abondante dans de certains points.

Quand le fer est combiné au charbon, il est encore sensible à l'action magnétique; mais alors il peut conserver des traces durables de magnétisme, ce qui le distingue essentiellement du

fer doux ou pur. Car ce dernier, qui s'attache à un aimant quand on le met en contact avec lui, perd ses propriétés magnétiques quand il en est séparé; tandis qu'elles persistent dans l'acier, même après le contact de l'aimant, avec une intensité qui varie suivant certaines circonstances.

Ainsi, un morceau de fer doux en contact avec un aimant dont l'attraction peut le retenir contre l'action de la pesanteur, attire lui-même la limaille de fer; mais il perd cette puissance dès que l'aimant est éloigné, c'est-à-dire qu'il ne conserve alors aucune trace de magnétisme. Si on substitue au fer doux un morceau d'acier, on reconnaît qu'il attire la limaille, ou la retient contre l'action de la pesanteur, non seulement lorsqu'il est sous l'influence de l'aimant, mais encore quand cette influence est éloignée.

Quand on approche d'un aimant naturel de la limaille de fer, on remarque que certains points de cet aimant paraissent être des centres d'action vers lesquels semblent se diriger les grains de limaille. Ces points portent le nom de pôles.

Chaque aimant en possède au moins deux; mais il en manifeste ordinairement un plus grand nombre.

Il en est de même d'un morceau d'acier qui a acquis la vertu magnétique par son contact avec un aimant; il ne retient pas la limaille en aussi grande quantité sur tous les points; il offre le plus souvent deux pôles seulement.

Un grand nombre de phénomènes magnétiques ont lieu dans des circonstances analogues à celles qui développent des phénomènes électriques. Par exemple, ces derniers se manifestent dans des corps conducteurs isolés, soumis à l'influence de corps électrisés, comme si on leur avait directement communiqué de l'électricité. Pareillement des morceaux de fer doux, placés à distance d'aimants naturels, manifestent des phénomènes magnétiques, comme s'ils étaient eux-mêmes aimants. Les phénomènes de l'électrisation par influence disparaissent quand on éloigne le corps électrisé. Pareillement encore les propriétés magnétiques du fer doux disparaissent quand on écarte l'aimant qui les a fait naître.

Si on suspend parallèlement l'un à l'autre deux petits cylindres de fer doux à l'extrémité de deux fils de soie, et qu'on approche au-dessous d'eux l'un des pôles d'un fort barreau aimanté, ces deux petits pendules s'écartent l'un de l'autre, et se rapprochent quand on éloigne le barreau. Cette action est due à

l'influence de l'aimant qui donne momentanément la vertu magnétique aux deux fils de fer; les pôles semblables de ces petits aimants étant alors voisins, se repoussent; mais l'influence cessant, les pendules perdent leurs pôles et reviennent à leur position verticale (fig. 32).

Quand un barreau aimanté est assez puissant pour supporter une certaine masse de fer doux contre l'action de la pesanteur, au moyen de l'attraction que l'un de ses pôles exerce sur le pôle de nom contraire que son influence a déterminée dans cette masse, si l'on place parallèlement au premier barreau, mais dans une position inverse, un second barreau de même force, la masse de fer doux se détachera.

Un morceau de fer doux, suspendu à une extrémité d'un barreau aimanté, devient lui-même un aimant capable de soutenir à son extrémité libre un second morceau de fer doux. Ce dernier, aussi aimanté par influence, peut en soutenir un troisième, et ainsi de suite; mais l'action va en s'affaiblissant.

Si les morceaux suspendus au barreau aimanté étaient d'acier, ils conserveraient des propriétés magnétiques après la séparation, et agiraient comme de véritables aimants.

Les phénomènes magnétiques et les phénomènes électriques semblent donc avoir de grands rapports de similitude, parce que, outre les analogies qu'ils présentent, on est conduit à adopter des hypothèses peu différentes pour expliquer les uns et les autres.

§ XXIV. — *Définir la déclinaison et l'inclinaison, et donner une idée des boussoles de déclinaison et d'inclinaison.*

Pour reconnaître la direction que le globe tend à faire prendre à l'aiguille aimantée dans un lieu donné de la surface de la terre, on devrait déterminer d'abord par tâtonnement le centre de gravité d'une aiguille d'acier non aimantée, en cherchant le point où elle doit être attachée à un fil de soie vertical et sans torsion pour rester indifféremment dans toutes les positions qu'on lui donnerait autour de ce point; on aimanterait ensuite cette aiguille, qui s'arrêterait dans la direction cherchée. Quand on la suspendrait de nouveau au point trouvé, l'angle que son axe ferait alors avec l'horizon donnerait ce que l'on appelle l'inclinaison de l'aiguille aimantée.

Mais ce moyen étant incommode, on se sert, pour mesurer l'inclinaison, d'une aiguille aimantée mobile dans un plan vertical autour d'un axe horizontal, un limbe vertical ayant son centre sur cet axe et lui étant perpendiculaire, permet de déterminer l'angle que l'aiguille fait avec l'horizon ou avec la verticale quand elle est en équilibre. Ce limbe, entraînant avec lui l'aiguille et son axe, est mobile autour de la verticale. Un second limbe fixe et maintenu parfaitement horizontal permet de mesurer l'angle de la rotation imprimée à la partie mobile de l'instrument, ou désigne la position azimutale du plan dans lequel il peut se mouvoir. Cet appareil porte le nom d'aiguille d'inclinaison (fig. 33).

Il est évident que si l'aiguille fait des angles différents avec l'horizon, quand elle s'arrête dans des plans verticaux différents, pour mesurer la véritable inclinaison, il faudrait placer le limbe vertical dans le plan même du méridien magnétique; mais on peut déduire cette inclinaison de deux observations faites dans deux azimuths quelconques perpendiculaires entre eux.

L'aiguille aimantée ordinaire ou de déclinaison est horizontale, parce qu'on équilibre par un contre-poids la force qui tend à soulever le pôle boréal de l'aiguille; car l'on sait que cette composante verticale est constante dans quelque place que se trouve l'aiguille d'inclinaison, et c'est en effet ce que démontre l'expérience; car l'aiguille étant disposée de manière à être horizontale dans un plan vertical, l'est dans tous les autres quand les influences étrangères au globe n'introduisent pas de nouvelle composante verticale.

§ XXV. — *Procédés d'aimantation.*

On a imaginé plusieurs procédés pour aimanter les barreaux d'acier, et parmi ces moyens on doit distinguer les suivants. Le premier, connu sous le nom de méthode de la simple touche, consiste à mettre en rapport un pôle d'un aimant avec un barreau d'acier, ou mieux à frictionner le barreau d'acier avec le barreau aimanté en frottant toujours dans le même sens. Pour mieux développer cette idée, soit A B un morceau d'acier, et C D un aimant, appuyons le pôle D sur le barreau A B près de l'extrémité B, de manière à faire marcher le pôle D en A. Une fois arrivé au bout, il ne faut pas frotter de A en B; il

faut, au contraire, reporter le pôle D en B, et recommencer à le faire aller de B vers A. En opérant ainsi, l'extrémité A du barreau d'acier prend un pôle de nom contraire au pôle D (fig. 34).

Cette méthode ne peut pas donner de forts barreaux; aussi préfère-t-on celle de la douche-touche. Au lieu d'un aimant on en emploie deux, que l'on fait marcher, à partir du milieu, chacun vers une extrémité différente du barreau AB. Il faut de plus que les deux pôles C et D soient de nom contraire (fig. 35).

CHAPITRE VIII.

ÉLECTRO-MAGNÉTISME.

§ XXVI.—*Expériences qui constatent l'action des courants sur les aimants et l'action des courants sur les courants.*

L'action mutuelle des courants voltaïques et des aimants donne lieu à un grand nombre de phénomènes, dont l'ensemble constitue la théorie physique de l'électro-magnétisme.

Le fait capital de cette théorie consiste en ce qu'un conducteur métallique, qui réunit les deux pôles d'une pile en activité, exerce des actions attractives et répulsives sur les pôles d'une aiguille aimantée qui la font dévier du méridien magnétique.

L'expérience indique que ces actions peuvent être considérées comme se réduisant à deux forces appliquées aux deux pôles de l'aimant, d'intensités dépendant des distances de ces pôles au courant, de directions opposées et perpendiculaires aux plans menés par le conducteur rectiligne et par chaque pôle, en sorte que si l'aimant était très petit relativement à la distance qui les sépare du courant, ces forces composeraient un couple qui tendrait à placer l'axe de l'aimant dans une position perpendiculaire au plan, mené par son centre et par le courant rectiligne; dans

tous les cas, les forces dont il s'agit tendraient à placer l'axe de l'aimant dans un plan perpendiculaire au conducteur.

Relativement à la direction du courant ou à la route que suit le fluide électrique positif dans le conducteur, l'aimant tend toujours à se disposer dans le plan perpendiculaire au conducteur, de telle manière que le pôle austral de l'aimant, celui qui se dirige vers le nord, par l'action du globe, soit à la gauche du courant, c'est-à-dire à la gauche d'un observateur regardant l'aiguille aimentée, et que l'on imaginerait couché sur le courant qui cheminerait de ses pieds à sa tête.

Une multitude d'expériences peuvent servir à vérifier ces lois générales. Si l'on présente le courant rectiligne horizontalement dans la direction du plan méridien magnétique, au-dessus d'une aiguille aimantée, elle est déviée et son pôle austral marche vers la gauche du courant. Si on présente le courant au-dessous de la même aiguille, elle sera déviée en sens contraire, son pôle austral marchant toujours vers la gauche du courant, ces déviations sont d'autant plus considérables que la pile est plus forte ou que le courant est plus énergique, pour un courant très fort l'aiguille se placera à peu près perpendiculairement à sa direction.

Quand on présente le courant à l'aiguille dans le plan horizontal, qui la contient soit à droite, soit à gauche, on remarque qu'un de ses pôles s'abaisse, et que l'autre s'élève toujours, de manière que le pôle austral tend vers la gauche du courant; mais le mode de suspension de l'aiguille s'oppose à ce que ces mouvements soient très prononcés.

Si l'on dispose une aiguille aimantée mobile autour d'un axe, de manière que cet axe soit parallèle à l'aiguille d'inclinaison, elle peut rester indifféremment dans toutes les positions; si alors on lui présente un courant rectiligne dans une direction quelconque, parallèle au plan dans lequel elle peut se mouvoir, elle se place toujours de manière à être exactement perpendiculaire au courant. On peut encore annuler l'action de la terre sur une petite aiguille aimantée, en plaçant à une certaine distance un gros aimant horizontal dans la direction du méridien magnétique; si l'on présente un courant horizontal au-dessus ou au-dessous de cette aiguille, elle se place aussi perpendiculairement au conducteur.

Pour étudier l'action réciproque des courants, on se procure un conducteur rectiligne fixe, parcouru par un courant énergique en enroulant autour d'un cadre rectangulaire une lame de

cuivre recouverte de soie, de manière à ce qu'elle y fasse dix à douze tours, avant que ses extrémités plongent dans les rigoles L et K d'une table; par cette disposition on multiplie l'énergie du courant dans le côté supérieur F′ O′ du rectangle; au-dessus on suspend au support des conducteurs mobiles, un double rectangle astatique de manière que le côté horizontal soit très près de E′ O′, et fasse avec cette ligne un angle quelconque; l'ensemble est disposé de telle sorte que la verticale passant par les pointes du conducteur mobile soit dans le plan du cadre fixe, et s'il est possible qu'elle contienne un des côtés verticaux du conducteur fixe (fig. 36).

Quand le courant voltaïque est introduit, on remarque que le conducteur mobile vient se placer dans le plan du conducteur fixe, de telle manière que le courant en FO soit parallèle à celui en E′ O′, et dirigé dans le même sens; en renversant successivement la direction du courant dans le conducteur fixe, ou dans le conducteur mobile, le double rectangle mobile se déplace toujours de manière à remplir la double condition qui vient d'être énoncée. Les résultats de ces expériences sont compris dans cette loi générale. Quand deux courants rectilignes forment entre eux un certain angle, qu'ils soient ou non situés dans le même plan, ils s'attirent s'ils vont tous deux en s'approchant ou tous deux en s'éloignant du sommet de l'angle; ils se repoussent, au contraire, si l'un d'eux va en s'approchant et l'autre en s'éloignant du même sommet.

Si l'on dispose près d'un conducteur fixe rectiligne et vertical F′O′ un conducteur mobile FO faisant partie d'un double rectangle astatique; lorsque le courant sera ascendant ou descendant dans ces deux conducteurs, la position d'équilibre stable du double rectangle mobile sera celle du plan passant par E′ O′ et par l'axe de rotation. On peut donc dire qu'il y a attraction entre deux courants rectilignes parallèles et dirigés dans le même sens; si, au contraire, le courant est ascendant suivant EO ou E′ O′, et descendant suivant E′ O′ ou EO. On remarque que le rectangle mobile tend à se placer dans une position perpendiculaire au plan passant par E′ O′ et par l'axe de rotation. On doit conclure de là que deux courants rectilignes parallèles, mais dirigés en sens contraires, se repoussent (fig. 37).

§ XXVII. — *Construction et usage du multiplicateur.*

L'effet du multiplicateur est fondé sur l'action égale qu'exercent sur l'aiguille aimantée toutes les parties d'un fil conducteur. Si, par exemple, fig. 38, une aiguille aimantée est placée entre deux portions *ab* et *bc* d'un fil semblable et que les fils et l'aiguille soient dans un même plan vertical, on conçoit que l'aiguille doit recevoir une impulsion double de celle qu'un seul fil lui imprimerait. En effet, les deux impulsions données à l'aiguille par les deux portions horizontales du fil s'ajoutent entre elles, parce qu'elles sont parcourues par le courant électrique en deux sens différents. On augmentera donc l'effet en faisant faire au fil conducteur plusieurs circonvolutions. C'est là ce qui constitue le multiplicateur.

La figure 39 représente un multiplicateur; AA est le pied de l'instrument; CC, CC sont deux montants que porte un châssis; BB dans les bords duquel existe une rainure, où se logent les tours successifs du fil multiplicateur; DD est un montant destiné à porter le fil auquel l'aimant doit être suspendu; toutes ces parties sont en bois; EE est un fil de métal qui passe à frottement par un trou pratiqué dans la partie supérieure du montant DD. A ce fil métallique s'attache par un peu de cire le fil de cocon EF; celui-ci porte à son extrémité un petit triangle double de papier sur lequel repose la petite aiguille aimantée; en G est un cylindre creux dans lequel passe librement le fil de suspension et qui empêche le multiplicateur de le toucher.

On voit encore au-dessous de l'aiguille aimantée un cercle divisé pour mesurer les déviations. Le fil multiplicateur est de cuivre, son épaisseur d'un quart de millimètre. Il est enveloppé de soie dans toute sa longueur, par là on empêche toute communication électrique entre les différentes parties de ce fil, qui sont superposés dans la rainure du châssis BB; H et J représentent les deux extrémités du fil.

L'usage de cet appareil se conçoit presque sans explication. Pour multiplier l'action qu'a sur l'aiguille un courant galvanique, on n'a qu'à établir les communications de manière que le fil multiplicateur devienne une partie du circuit. L'électricité développée par le contact des deux disques, l'un de zinc et l'autre de cuivre, quand même on n'emploie que de l'eau pure pour conducteur liquide, est déjà très appréciable avec cet appareil. On peut de la même manière rendre sensibles des actions galva-

niques qui seraient trop faibles pour être appréciées directement.

Quand on veut se servir du multiplicateur pour des actions électro motrices un peu considérables, il faut employer des fils conducteurs plus épais.

Le galvanomètre que nous avons représenté est celui de Schweiger qui l'a imaginé; depuis, cet instrument a été modifié de bien des manières, et on est parvenu à le rendre tellement sensible que l'on a pu avec cet appareil constater la présence de courants, là où l'on ne soupçonnait pas même leur existence.

§ XXVIII. — *Moyens de produire les courants thermo-électriques. Description du thermo-multiplicateur.*

Une simple différence de température, entre les parties d'un circuit composé de substances métalliques, suffit pour faire naître des courants électriques dans ce circuit. Le galvanomètre, que nous avons décrit, offre un moyen facile d'étudier ce genre de phénomènes, auxquels on donne le nom de phénomènes thermo-électriques. L'appareil qui a servi à découvrir ce nouvel effet de chaleur consiste dans un cylindre de bismuth ou d'antimoine B, soudé vers ses deux bases, à une lame de cuivre S M S′; la partie M est entourée d'une étoffe isolante, afin que la main puisse saisir l'appareil sans donner une issue dans le sol aux fluides électriques développés (fig. 40).

Quand tout le circuit est à la même température, il n'exerce aucune action sur l'aiguille aimantée. Mais si l'on échauffe l'une des soudures S, par exemple, l'aiguille aimantée est déviée dans le voisinage du circuit, et indique un courant dans un sens; le courant est inverse quand on chauffe la soudure S; si les deux soudures sont également échauffées, il n'y a plus de courant; mais si l'on refroidit ensuite l'une d'elles plus que l'autre, le courant renaît; c'est donc à une simple différence de température, entre les soudures S et S′, que l'on doit attribuer l'existence du courant.

On fait voir que les phénomènes thermo-électriques dépendent d'une inégalité dans le mouvement de la chaleur, à travers les différentes parties du circuit, quand on soude l'une à l'autre les deux extrémités d'un fil de platine, de manière à former un circuit formé d'un seul métal; car si on l'échauffe en un quelconque de ses points, il n'en résulte aucun courant; mais si l'on fait un nœud en quelque endroit, et qu'on échauffe une partie voisine du circuit,

un courant se manifeste; or il ne peut être attribué qu'à une différence dans la propagation de la chaleur des deux côtés du foyer, dans le sens du nœud où une plus grande masse de métal se trouve réunie au même point et dans le sens opposé, ou le métal a partout les mêmes dimensions transversales.

L'argent et l'or, soudés ensemble comme dans la figure précédente, n'ont pas des effets thermo-électriques aussi puissants que le cuivre et le bismuth. L'expérience prouve que les métaux qui produisent le plus d'effet sont le bismuth et l'antimoine.

M. Nobili a imaginé un thermomètre thermo-électrique; il est composé d'un grand nombre d'éléments, de deux métaux différents alternativement soudés les uns aux autres; le polygone qu'ils forment est replié, de manière que toutes les soudures d'ordre impair soient d'un côté, et toutes celles d'ordre pair de l'autre côté de la masse totale qui a la forme d'un cylindre; tous les éléments sont recouverts latéralement d'une substance isolante. Les soudures seules apparaissent libres sur les bases du cylindre; le tout est enveloppé d'un tube de cuivre, terminé d'un côté par une sorte de miroir parabolique du même métal, et de l'autre par une plaque de cuivre.

Enfin, le polygone est interrompu pour qu'on puisse fermer le circuit par le fil d'un galvanomètre; quand on tourne l'axe du miroir parabolique du côté d'une source de chaleur rayonnante, même très faible, l'aiguille du galvanomètre est déviée. L'enveloppe en cuivre qui recouvre tout l'appareil, moins les soudures de l'ordre impair, a pour objet de préserver le reste du polygone de l'action de la chaleur rayonnante.

Cet appareil est fondé sur cette propriété, que quand on chauffe de deux en deux les soudures d'un polygone fermé, composé d'éléments de métaux différents, alternativement soudés les uns aux autres, en maintenant les soudures intermédiaires à une température constante, le courant multiple qui s'ensuit augmente d'énergie avec le nombre des éléments, quoique dans un rapport plus faible que ce nombre. Pour constater les courants développés avec cet appareil, on ne peut pas employer le galvanomètre ordinaire; il faut en employer un à gros fils. L'expérience fait voir que quand les fils sont très fins, le courant ne passe que très difficilement. Du reste, la construction de ces nouveaux galvanomètres, ou thermo-multiplicateurs ne diffère pas des galvanomètres ordinaires.

CHAPITRE IX.

ACTIONS MOLÉCULAIRES.

§ XXIX. — *Capillarité. Ascension ou dépression des liquides dans les tubes. Capillarités et autres effets de la capillarité.*

La cohésion des liquides, et l'attraction que les solides exerçent sur eux, modifient un grand nombre de phénomènes qui semblent contraires aux lois connues de l'hydrostatique, quand on ne fait pas entrer en considération l'action de ses forces. Les phénomènes dans lesquels on remarque ces exceptions aux applications générales de la mécanique rationnelle, ont reconnu le nom de phénomènes capillaires, parce que ceux que l'on a remarqués les premiers avaient lieu quand on mettait en contact avec des liquides des corps solides, présentant des cavités dont la largeur était très petite, et comparable au diamètre d'un cheveu. Ces phénomènes dépendent de la courbure des surfaces qui terminent les liquides, et de l'état particulier des molécules, très voisines de ces mêmes surfaces.

Nous n'exposerons pas ici la théorie mathématique des phénomènes capillaires, nous indiquerons seulement les lois auxquelles le calcul a conduit, et que l'expérience a complétement vérifiée.

La hauteur à laquelle un liquide s'élève dans un tube capillaire dépend de la forme du tube, de sa largeur, de la nature du liquide et de sa température.

On a trouvé que pour des tubes de même nature, plongés dans un même liquide, l'ascension ou la dépression du liquide au-dessus ou au-dessous du niveau est en raison inverse du diamètre du tube. Toutefois ce rapport cesse d'être exact quand le diamètre des tubes est trop considérable. On a vu que dans un tube de verre de un millimètre de diamètre, dans lequel l'eau pure s'élève à 30 millimètres, l'alcool ne s'élève qu'aux deux tiers

de cette hauteur : on a 12 millimètres seulement. Dans un même tube, et pour un même liquide, l'élévation ou la dépression diminue quand la température augmente, l'eau et l'alcool, qui s'élevaient dans un même tube à 24 et 9 millimètres, quand ils étaient à la température ordinaire ne s'y élevaient plus aux températures de leur ébullition que 20 et 8 millimètres.

Quand un liquide s'élève dans des tubes de différentes matières, mais de même diamètre, et préalablement mouillés intérieurement par ce liquide, on remarque que dans tous ces tubes son élévation est la même; cela tient à ce que le liquide qui mouille la paroi se substitue à la paroi elle-même.

L'expérience et la théorie indiquent que si au lieu d'un tube on emploie des lames parallèles, la hauteur du liquide est moitié de ce qu'elle est pour des tubes d'un diamètre intérieur égal à la largeur des lames.

Si les deux lames, au lieu d'être tenues parallèles, viennent à se rencontrer suivant une ligne droite, le liquide décrit une courbe que la théorie indique être une hyperbole équilatère.

Quand on plonge un tube capillaire dans un liquide qui s'y élève, et qu'on le retire doucement en essuyant sa pointe inférieure, une colonne de liquide y reste suspendue, concave vers le haut, convexe vers le bas à l'orifice inférieur, et dont la hauteur est à très peu près double de l'élévation observée quand le tube plongeait dans le liquide.

Si on fait communiquer par le bas deux tubes de verres différents, l'un plus petit et capillaire, l'autre plus grand et assez large pour que la capillarité y soit insensible, que l'on verse successivement de l'eau dans le grand tube, on verra le niveau du liquide dans le petit tube s'élever au-dessus de celui du liquide dans le tube large; le premier niveau montera jusqu'à ce qu'il atteigne l'orifice, la surface deviendra de plus en plus convexe, jusqu'à ce que le liquide s'écoule goutte à goutte; tandis que le liquide dans le grand tube se rapprochera du niveau de l'orifice l'atteindra, et le dépassera de plus en plus (fig 41).

Si une petite colonne de liquide est suspendue dans un tube de verre conique à base circulaire, dont l'axe est horizontal, elle se rapprochera ou s'éloignera du sommet du cône, suivant que les surfaces qui la termineront seront concaves ou convexes (fig. 42).

Quand deux corps solides, plongés en partie dans un liquide, sont près l'un de l'autre, et abandonnés ensuite à eux-mêmes, ils se rapprochent davantage; si le liquide est élevé ou déprimé

dans le voisinage de ces deux corps, ils s'éloignent au contraire lorsque l'un des corps déprimant le liquide, l'autre est mouillé par ce même liquide.

§ XXX.—*Élasticité, compressibilité des liquides, compressibilité des solides. Élasticité de tension et de torsion. Ténacité.*

L'élasticité est la propriété dont jouit un corps solide de revenir rigoureusement à ses dimensions premières, lorsque, comprimé ou dilaté par des forces étrangères, ces forces cessent de lui être appliquées. La limite des efforts qu'il peut supporter, sans cesser de manifester cette propriété, est connue sous le nom de limite de l'élasticité.

Quand un corps solide est à l'état de repos, les points matériels qui le composent sont sollicités par des forces qui se font équilibre ou s'annulent. Mais quand on exerce une pression à sa surface, celle-ci entre en mouvement, l'ébranlement se communique aux molécules intérieures, le corps solide se déforme légèrement et se constitue bientôt dans un nouvel état d'équilibre.

Maintenant, si on supprime la cause de cet effet, il se reproduit un nouvel état d'équilibre qui est ordinairement différent du premier quoiqu'il puisse être le même dans certains cas; mais avant d'y arriver elle exécute une série d'oscillations qui varie suivant la nature des corps et des agents extérieurs.

Un corps est dit parfaitement élastique quand, ayant été comprimé pendant un certain temps, il peut reprendre sa forme première de lui-même dès qu'il redevient libre. Le gaz et les liquides sont dans ce cas.

Autrefois on croyait que les liquides étaient incompressibles et par suite non élastiques; depuis on est parvenu à constater l'existence de cette propriété. L'appareil qui est le plus commode pour l'expérience consiste en un grand tube en verre très fort, dans l'intérieur duquel on place un thermomètre plein d'eau et dans le tube duquel se trouve un globule de mercure. On comprime fortement le liquide du gros tube au moyen d'une vis qui entre à frottement dur dans le vase. La pression se transmet à l'intérieur et à l'extérieur du thermomètre. Mais l'on démontre que l'effet que supporte le thermomètre est le même que s'il n'était pas creux, c'est-à-dire qu'il fût d'un seul morceau de verre. Comme dans ce cas il est évident que la pression doit

resserrer de plus en plus les molécules vers l'axe de l'instrument, il en résulte qu'avec le thermomètre tel qu'il est dans la figure, la pression de l'eau doit diminuer la capacité intérieure. Donc, si l'eau était incompressible, le globule de mercure devrait tendre à sortir du tube capillaire du thermomètre; or on remarque au contraire qu'il enfonce, ce qui permet de conclure que l'eau se comprime (fig. 43).

On est parvenu ainsi à conclure que la compressibilité cubique moyenne du mercure sous une augmentation d'une atmosphère est de 0,00000338, pour l'eau de 0,000049, pour l'alcool de 0,00009.

On doit distinguer dans les corps deux sortes d'élasticité, celle de tension et celle de torsion.

Pour la première on sait très peu de chose, on sait seulement que, pour des petites charges, l'allongement est proportionnel à la charge. Dès qu'elle dépasse une certaine limite, le fil s'allonge suivant une loi toute différente, et il ne reprend plus la longueur qu'il avait avant l'expérience dès qu'il est débarrassé du poids qu'il avait à supporter.

Pour la torsion on démontre, par l'expérience, que sa force est proportionnelle à l'angle de torsion, toujours dans des limites peu étendues. C'est sur ce principe qu'est fondée la balance de torsion dont on s'est servi en électricité pour mesurer la loi des attractions et répulsions électriques.

La ténacité ou la cohésion est une force qui unit les différentes particules d'un même corps, on peut en constater l'existence par des expériences directes, par exemple, si l'on prend deux corps solides terminés par des plans bien dressés, qu'on les applique exactement l'un sur l'autre en les enduisant d'un peu de liquide ou d'un corps gras pour chasser l'air interposé; on remarque que les deux corps adhèrent assez fortement l'un sur l'autre, même lorsqu'ils sont dans le vide, et que conséquemment la pression extérieure de l'atmosphère n'agit plus concurremment avec la cohésion pour réunir les deux surfaces; deux plaques de verre bien poli ou deux morceaux de plomb récemment coupés servent très bien à constater ce fait.

CHAPITRE X.

ACOUSTIQUE.

§ XXXI. — *De la production du son et de sa vitesse de transsion dans l air atmosphérique.*

Le son est le résultat de certains mouvements vibratoires produits dans les corps sonores; ces vibrations sont communiquées à l'air et de l'air à l'oreille, et dans ce trajet les sons les plus distincts ou les plus susceptibles d'être entendus sont produits par les corps qui sont assez élastiques pour admettre dans leur nature un mouvement vibratoire, et plus les mouvements sont rapides, plus les sons qu'elles produiront seront aigus; aussi une boule de terre glaise humide qui est privée d'élasticité, ne produit d'autre son, quand on la frappe, que celui qui résulte de la condensation de la petite portion d'air qui se trouve entre la boule et le marteau qui la frappe.

Le bruit des armes à feu et du tonnerre, le sifflement d'un fouet, sont produits de la même manière par des impulsions soudaines communiquées à l'air et transmises à l'oreille par une succession de vibrations; mais l'air ne peut être considéré comme le seul conducteur du son, puisque tous les corps élastiques le propagent aussi. Ainsi le plus léger frottement fait avec une épingle sur le bout d'une longue pièce de bois de charpente, sera parfaitement entendue en appliquant l'oreille à l'extrémité opposée. On croit généralement que le son se propage dans l'air par une succession de vibrations concentriques semblables à celles qui se produisent sur la surface d'une pièce d'eau quand on y jette un caillou. Le corps sonore est le centre du mouvement, et les ondulations diminuent en force à mesure qu'elles s'éloignent de ce centre, jusqu'à ce qu'elles deviennent trop faibles pour affecter le nerf auditif.

Pour vous former une idée des vibrations sonores, disposez

une cloche de verre entre deux pointes de fer, et en les frottant à l'aide d'un archet ou la choquant légèrement, vous verrez les pointes successivement frappées par la cloche. On peut concevoir cette cloche comme formée d'une infinité d'anneaux séparés depuis sa base jusqu'à son point culminant. Au moment où la cloche a été ébranlée par le frottement de l'archet ou le choc qu'elle a éprouvé, chaque anneau prend une figure ovale; le grand axe de cet ovale est évidemment perpendiculaire au sens suivant lequel la percussion s'est faite. Le retour de l'anneau à sa première figure est suivi d'un nouveau mouvement, et ainsi de suite, ces vibrations se communiquent à l'air jusqu'à ce qu'enfin la cloche reprenne l'état de repos.

La transmission du son ne se fait pas dans le vide, on le démontre en plaçant un mouvement d'horlogerie sous le récipient d'une machine pneumatique. On le fait reposer sur un coussinet en coton; on fait le vide, et à l'aide d'une tige qu'on enfonce à volonté, on détermine le mouvement du rouage. On voit alors, sans rien entendre, le marteau frapper continuellement le timbre.

La vitesse du son est constante; il parcourt des espaces proportionnels aux temps; cette vitesse a d'abord été évaluée à 1038 pieds par seconde. De nouvelles expériences plus exactes ont constaté que la vitesse est de 337,1 par seconde. Un son fort et un son faible ont la même vitesse. La direction et la force du vent ont une influence sur la vitesse du son; si elle concourt avec la direction de la propagation du son, elle l'augmente; si elle lui est est opposée, elle l'affaiblit; enfin dans le cas où elle lui est perpendiculaire, la vitesse du son n'en est nullement altérée.

§ XXXII. — *Lois des vibrations des cordes. Évaluation numérique des sons. Sons graves et aigus.*

Une corde rendue rectiligne par une tension, et écartée de sa position par une cause quelconque, y revient par une suite d'oscillations. Voici la relation que le calcul donne pour une corde tendue par un poids:

$$t = \sqrt{\frac{lp}{gP}}.$$

t est le temps d'une oscillation très petite; l la longueur de la corde; p son poids; g la gravité, et P le poids attaché à une de ses extrémités, et qui la maintient dans un état de tension; si, à la place de p, on met sa valeur $l \pi r^2 d$, d étant la densité, on aura:

$$N = rl \sqrt{\frac{\pi d}{g P}},$$

ou si N est le nombre des vibrations faites pendant l'unité de temps, on aura:

$$d = l \frac{1}{rl} \sqrt{\frac{g P}{\pi N}}.$$

De cette formule résultent plusieurs conséquences remarquables, que du reste on démontre par l'expérience.

1° Le nombre de vibrations de deux cordes de même matière, de même diamètre et également tendues, sont en raison inverse des longueurs.

2° Si la matière, le diamètre et la longueur sont les mêmes et que la tension soit différente, les nombres d'oscillations sont proportionnels aux racines carrées des poids qui tendent les cordes.

C'est à l'aide du monocorde que l'on vérifie ces lois (fig. 44).

Cet appareil consiste en une corde fixée par son extrémité A et tendue par un poids, et afin qu'une portion de poids ne soit pas employée à vaincre le frottement, on le fait reposer sur une partie mobile B.

Pour que les expériences aient plus de précision on se sert toujours de la même corde. Veut on lui donner diverses longueurs, on emploie un petit chevalet mobile de forme triangulaire, qu'on place en tête du point de la longueur qu'on voit. Le chevalet désigné par F a une hauteur telle, qu'étant placé entre le plateau du monocorde et la corde elle-même, celle-ci presse dessus et se trouve ainsi fixée en ce point.

Si le chevalet est placé au milieu de la corde, alors le nombre de vibrations faites par chaque moitié sera double, dans un temps donné, de celui que fait la corde entière, et le son rendu par chaque moitié, sera ce qu'on appelle l'octave aigu du son de la corde entière.

Si l'on place le chevalet au tiers de la corde, le son rendu

par cette portion sera plus aigu encore que le précédent et sera l'octave du son rendu par l'autre portion qui fait les $\frac{2}{3}$ de la corde. Ce dernier sera, ce qu'on appelle en musique, la quinte du son produit par la corde entière; en continuant de même on formera les consonnances suivantes.

L'octave aigu sera deux, le son le plus bas étant l'unité; c'est l'intervalle entre les deux ut de la gamme ordinaire. L'intervalle de ut à sol ou la quinte en montant, aura pour expression $\frac{3}{2}$; l'intervalle de ut à fa ou la quarte, sera représenté par $\frac{4}{3}$; l'intervalle de ut à mi ou la tierce majeure, le sera par $\frac{5}{4}$; l'intervalle de mi à sol ou la tierce mineure, par $\frac{6}{5}$. En continuant de même, on trouvera tous les sons musicaux représentés ainsi qu'il suit :

Sons.	ut,	ré,	mi,	fa,	sol,	la,	si,	ut.
Nombre des vibrations.	1,	$\frac{9}{8}$,	$\frac{5}{4}$,	$\frac{4}{3}$,	$\frac{3}{2}$,	$\frac{5}{3}$,	$\frac{15}{8}$,	2.

Ces huit sons forment la gamme naturelle.

On vérifie la conséquence relative au poids de la manière suivante. Si cette conséquence est fondée, une corde tendue par un poids quadruple doit donner le même son que la même corde réduite à moitié; ce qui est en effet conforme à l'expérience.

CHAPITRE XI.

OPTIQUE.

§ XXXIII. — *Propagation de la lumière dans un milieu homogène. Moyen de déterminer le temps qu'elle met pour venir du soleil à la terre.*

Nous nommons lumière la cause inconnue de la visibilité; la lumière se produit d'une infinité de manières; ses principales sources sont le frottement ou le choc, l'électricité et les actions chimiques.

Le soleil, la flamme et tous les corps embrasés répandent de la lumière autour d'eux. On dit que de tels corps sont lumineux par eux-mêmes; d'autres corps rendent l'effet qu'ils ont reçu des premiers, et l'on dit de ceux-ci qu'ils sont éclairés. Les effets de la lumière pénètrent à travers tous les gaz, la plupart des liquides, particulièrement l'eau et beaucoup de corps solides, parmi lesquels on doit surtout distinguer le verre. De semblables corps, prennent le nom de transparents; d'autres retiennent la lumière, et s'appellent corps opaques.

La première loi des mouvements de la lumière est la suivante:

Dans un milieu transparent et de propriétés matérielles homogènes, la transmission de la lumière se fait en ligne droite.

Il n'est besoin d'aucune expérience particulière pour démontrer cette loi; sa preuve la plus évidente se trouve dans l'observation suivante, que nous pouvons répéter à chaque fois que nous regardons. Il nous est impossible de voir immédiatement un corps s'il se trouve un corps opaque dans la ligne droite que l'on peut mener de lui à notre œil; de plus on reconnaît que la lumière se dirige en ligne droite, quand dans une chambre dont les volets fermés ne laissent que peu de passage au jour, on

observe la direction des grains de poussière qui voltigent dans l'air.

Cette loi représente parfaitement les effets de la lumière directe, et ramène l'optique entière aux principes de la géométrie. Une ligne droite, considérée comme le chemin qui suit l'effet de la lumière, se nomme rayon.

De chaque point d'un corps lumineux par lui-même les rayons se dispersent vers tous les côtés où l'on peut tirer des lignes droites dans le milieu transparent, et chaque rayon de lumière suit son chemin en ligne droite jusqu'à ce qu'il arrive à un milieu de propriétés matérielles différentes, alors l'effet change suivant la nature du corps dans lequel pénètre le rayon.

Si le rayon de lumière entre dans un milieu transparent plus rare ou plus dense, ou dont les propriétés matérielles sont différentes, il éprouve une réfraction, c'est-à-dire il est plus ou moins détourné de son chemin en ligne droite.

Si le rayon arrive sur la surface plane d'un corps opaque, il est réflechi dans une direction déterminée.

Si le rayon passe très près d'un corps, il subit une simple inflexion dont les lois ne sont pas encore parfaitement connues, mais qui ne paraît pas avoir une influence importante sur la vision.

Enfin si la lumière tombe sur un corps opaque et non poli, il se fait des changements que nous devons examiner avec attention.

Dans ce cas, le corps est éclairé, c'est-à-dire que tous les points deviennent lumineux parce qu'il réfléchit la lumière qu'il reçoit vers tous les points où l'on peut mener une ligne droite à travers le milieu transparent.

On conçoit qu'il résulte toujours de cette dispersion de lumière un affaiblissement considérable, puisque chaque rayon est pour ainsi dire subdivisé en un nombre infini de rayons; aussi l'impression de cette lumière disséminée est-elle moins forte sans comparaison que la lumière éblouissante des corps lumineux par eux-mêmes.

Mais indépendamment de cette dissémination, la lumière se trouve affaiblie encore par une autre cause. Il arrive presque toujours des changements remarquables dans la lumière par le contact du corps; il y a des corps qui renvoient toute la lumière qu'ils reçoivent, ceux-là paraissent blancs; il y en a d'autres au contraire qui n'en renvoient que peu ou pas du tout; dans ce cas, ils paraissent différemment colorés ou même noirs.

La vitesse de la lumière est prodigieuse; les observations astronomiques offrent des moyens de la mesurer avec une grande précision : la première application en fut faite dans le mouvement du premier satellite de Jupiter. Cette planète est accompagnée de quatre satellites; Jupiter projette dans l'espace une ombre conique, dont la base repose sur la partie éclairée; le premier satellite s'éclipse par son entrée dans le cône d'ombre. Si un observateur est placé sur la terre entre Jupiter et le soleil, il reconnaît qu'il s'écoule 42 heures et demie entre deux éclipses successives; mais comme le mouvement de la terre autour du soleil est beaucoup plus rapide que celui de Jupiter, bientôt le soleil, la terre et Jupiter ne sont plus en ligne droite.

Dans une position très éloignée de la première, l'observateur devra voir sortir le satellite du cône d'ombre, au bout d'un certain nombre de fois 42 heures et demie, si la vitesse de la lumière était infinie; mais il n'en est pas ainsi, et le satellite est d'autant plus en retard, que l'accroissement de la distance est devenu plus grand. Si la terre est à l'extrémité du diamètre de son orbite, le retard est de 16' 26''; ce diamètre est de 68 à 69 millions de lieues; la vitesse de la lumière est donc de 70,000 lieues par seconde : elle nous vient du soleil en 8' 13''.

§ XXXIV. — *Réflexion. Lois de la réflexion. Effets des miroirs plans, et des miroirs sphériques concaves et convexes.*

A proprement parler, toutes les surfaces polies réfléchissent la lumière à la manière des miroirs, même lorsqu'on regarde obliquement une surface plane non polie; on y voit quelques images semblables à celles qui se présentent dans un miroir, mais le plus souvent elles ne sont pas distinctes. Cependant, parmi ces corps solides, il n'y a que quelques métaux simples, et quelques alliages ou amalgames qui soient susceptibles de prendre un poli parfait.

Les miroirs de glace rendent à la vérité les miroirs métalliques inutiles pour l'usage ordinaire; mais ils ne peuvent être employés pour les expériences exactes d'optique, parce qu'ils font une double réflexion aux deux surfaces de verre, et aussi parce que la lumière qui parvient à la surface postérieure est elle-même refractée deux fois dans le verre, et que par conséquent les phénomènes qu'on observe ne sont pas produits par la seule réflexion des rayons.

Parmi les différentes formes qu'on peut donner aux miroirs,

il n'en est que deux dont il soit important de parler, ce sont celles des miroirs plans et des miroirs sphériques.

Tous les phénomènes lumineux qui se produisent au moyen des miroirs reposent sur une seule loi qui est la suivante :

Si un rayon de lumière H A (fig. 45) tombe sur une surface quelconque B A C, ou D A E, ou F A G, et qu'on élève au point d'incidence A la perpendiculaire A I au miroir; si ensuite l'on suppose par la pensée un plan qui contiendrait cette ligne et le rayon incident, le rayon réfléchi passera aussi dans ce plan, et de manière à faire avec la perpendiculaire A I un angle I A K égal à l'angle I A H, formé par le rayon incident avec cette perpendiculaire.

L'exactitude de cette loi peut être prouvée par l'expérience; pour y parvenir, il suffit de rendre visible la direction du rayon incident et celle du rayon réfléchi; une des méthodes les plus simples pour parvenir à ce but, c'est de faire arriver la lumière du soleil par une très petite ouverture sur un miroir quelconque placé dans une chambre sombre où l'on peut observer les grains de poussière répandus dans l'air, et éclairés par la lumière incidente et par la lumière réfléchie.

Soit A D B (fig. 46) le profil d'un miroir sphérique et C le centre de la sphère dont ce miroir est un segment; on nomme ce point le centre géométrique, et D, qui est le point milieu du segment lui-même, s'appelle le centre optique. Une ligne droite menée indéfiniment par C et D représente l'axe. C D est le rayon du miroir, et D A ou D B sont les demi-largeurs ou ouvertures. Si la surface intérieure est polie, le miroir est concave ou convergent; il est convexe ou divergent, si la surface extérieure seule est polie.

Si l'on dirige l'axe du miroir concave vers le soleil, tous les rayons qui viennent frapper sa surface sont rassemblés par la réflexion dans un très petit espace F qui se trouve justement au milieu, entre C et D; non seulement il se produit en ce point une lumière éblouissante, mais encore il s'y développe une vive chaleur dont l'intensité est très grande.

Par cette raison, on nomme cet espace le foyer du miroir, et la distance D F sa distance focale. Pour que cet effet soit aussi fort qu'il est possible, le miroir doit être très grand, et sa distance focale plus courte que la largeur de sa surface, ou au moins ne doit-elle pas l'excéder; car plus la distance focale est consi-

dérable, en comparaison de la surface du miroir, moins le foyer aura d'action.

Un corps qu'on veut exposer à la chaleur du foyer d'un miroir doit être plus petit que cet espace, afin d'y être environné de toutes parts par la chaleur qui y est rassemblée. Un miroir concave disposé pour cet objet se nomme miroir ardent.

Si l'on place une flamme dans le foyer d'un miroir concave, toute la lumière qui va frapper le miroir sera réfléchie presque parallèlement à l'axe, et comme la lumière parallèle conserve toujours une égale force, excepté lorsqu'elle est affaiblie par l'absorption que lui fait éprouver le milieu dans lequel elle passe, on peut propager ainsi une vive lumière à une distance considérable; on nomme miroir collecteur un miroir concave préparé pour cet effet.

Les images des objets que présente un miroir concave offrent des phénomènes beaucoup plus rares que ceux qu'on observe dans le miroir plan. En plaçant une bougie allumée devant le miroir dans une chambre obscure, tous les phénomènes suivants deviennent visibles.

1° Si la flamme est en deçà du foyer près du miroir, on en voit une image verticale et grossie qui paraît un peu plus loin derrière le miroir que la flamme elle-même n'est au-devant; à mesure qu'on rapproche la lumière du foyer, l'image grandit et s'éloigne.

2° Si la flamme est au foyer, son image ne se trouve nulle part; mais on voit seulement le reflet lumineux qui consiste en rayons parallèles.

3° Si l'on place la lumière au-delà du foyer, on n'aperçoit pas non plus son image dans le miroir; mais quand elle est à une certaine distance, il s'en peint une image grosse et renversée sur un mur blanc opposé au miroir; si l'on éloigne la lumière encore davantage, cette image est plus proche et plus petite. Quand la distance de la flamme devient double de la distance focale, l'image coïncide avec elle parce qu'elle est alors au centre de courbure du miroir; si on la recule encore, l'image qui est alors plus petite que la flamme se rapproche du foyer, et finirait par tomber précisément dans le foyer, si l'on pouvait éloigner indéfiniment la lumière; on voit par là que dans un miroir ardent la violente chaleur qu'on observe au foyer est produite par une image du soleil qui vient s'y représenter.

Les phénomènes que présente un miroir convexe, quand un

objet y répand sa lumière, sont beaucoup plus simples, quelque part que soit placé l'objet devant le miroir, qui en a peint toujours une image plus petite que lui, et située verticalement derrière le miroir; quand on dirige l'axe d'un miroir convexe vers le soleil, il ne rassemble pas la lumière, il la disperse; mais on peut prouver aussi bien par l'expérience que par le calcul que la petite image du soleil, de laquelle vient cette dépression de lumière, est placée à égale distance, entre le centre optique et le centre géométrique; par conséquent, derrière le miroir, à cause de cela, on nomme cette place le foyer négatif du miroir, et sa distance, derrière le miroir, la distance focale négative.

Il faut maintenant indiquer les moyens de déterminer la distance focale d'un miroir sphérique.

Pour un miroir concave, on le détermine de plusieurs manières; par exemple, on présente le miroir aux rayons du soleil, de manière que leur direction soit parallèle à son axe, et l'on mesure la distance de l'image au miroir; ou bien on colle un morceau de papier en rond et de la grandeur du miroir, on y trace un diamètre, et on fait sur celui-ci deux petites ouvertures rondes; à une égale distance du centre, on attache la feuille sur le miroir, l'on présente celui-ci à la lumière du soleil. Les rayons réfléchis par les deux ouvertures convergent, on cherche le point où ils se réunissent, et on mesure la distance du miroir.

Pour un miroir convexe, on ne peut employer que la deuxième méthode. Quand on a attaché le papier au miroir, on voit que les rayons réfléchis divergent, et on doit chercher les points où ils sont entre eux à une distance double de celle qu'ils avaient sur le miroir; on mesure la distance de ces points au miroir, et l'on connaît ainsi la distance focale négative.

§ XXXV. — *Réfraction, lois de la réfraction, effets des prismes considérés par rapport à la déviation seulement, effets des lentilles concaves et convexes.*

Tous les fluides aériformes, la plupart des liquides et beaucoup de corps solides sont transparents, peut-être n'est-il aucun corps qui ne se laisse traverser jusqu'à un certain point par la lumière, puisque l'or lui-même, qui est si opaque et si dense en grande masse, paraît avoir une espèce de transparence quand il est réduit en feuilles très minces. Beaucoup des corps laissent passer la lumière sans l'altérer, c'est-à-dire sans changer la cou-

leur qu'elle avait avant d'y pénétrer; mais beaucoup d'entre eux ne transmettent que certains rayons de lumière, et pour cette raison ils paraissent colorés.

Pour que les corps solides et liquides soient parfaitement transparents, il faut que leurs faces soient exactement polies. Cette condition se trouve remplie naturellement dans les liquides par l'effet de la pesanteur, elle l'est aussi dans les corps cristallisés.

Parmi les corps transparents, les uns réfractent simplement la lumière, c'est-à-dire que les faisceaux de rayons lumineux ne se désunissent pas en les traversant; mais il est d'autres corps qui séparent les rayons en deux faisceaux distincts. Ce phénomène se nomme la double réfraction; tout ce que nous allons dire ici se rapporte à la réfraction simple.

Tous les phénomènes qu'on observe au moyen des corps transparents qui réfractent simplement la lumière se trouvent expliqués par la loi suivante.

Quand un rayon lumineux passe obliquement d'un milieu transparent dans un autre, il s'écarte de sa direction première et subit une refraction, si par le point d'incidence où le rayon rencontre le second milieu, on conçoit une ligne perpendiculaire à la surface réfractante, le rayon en se réfractant s'approche de cette perpendiculaire, si le milieu où il entre est plus dense que celui qu'il quitte, et, au contraire, s'il est plus rare, il s'en écartera.

Pour donner à cette loi la rigueur mathématique (fig. 47), supposons que A est le point où le rayon de lumière passe d'un milieu dans un autre, soit que la surface qui sépare les deux milieux se trouve plane comme B C, ou convexe comme D E, ou enfin concave comme F G, supposons que le milieu plus rare soit au-dessus d'elle et le milieu plus dense au-dessous, que le rayon incident soit H A. Si l'on élève en A la perpendiculaire I A K au point d'incidence, et que l'on imagine un plan mené par I A K et H A, le rayon réfracté reste bien aussi dans ce plan; mais de sorte que l'angle K A L, qui est dans le milieu plus dense, se trouve plus petit que l'angle H A I qui est dans le milieu plus rare. En prenant A pour centre et un rayon arbitraire on décrit le cercle H I L K. Des points H et L, où le rayon incident et le rayon réfracté coupent sa circonférence, on mène les lignes H M et L N perpendiculaires à la verticale I A K. Les expériences ont appris que ces deux lignes H M, L N ont toujours des rapports

invariables pour toutes les directions d'incidences, les deux milieux où la lumière se meut restant les mêmes.

Dans un triangle rectangle dont l'hypothénuse est supposé égal à un, les deux autres côtés exprimés en nombre, c'est-à-dire en parties de cette hypothénuse s'appellent les sinus des angles qui leur sont opposés. On peut ici, puisque la grandeur du rayon AK est arbitraire, le supposer égal à l'unité : alors HM sera le sinus de l'angle HAI, ou le sinus d'incidence, et LN sera le sinus de LAK, ou le sinus de réfraction, et la loi de la réfraction pourra s'exprimer brièvement ainsi.

Quand un rayon passe d'un milieu dans un autre, il est réfracté de manière que le sinus d'incidence et celui de réfraction sont entre eux dans un rapport constant. Ce rapport se nomme le rapport de réfraction.

Il résulte de cette loi que :

1° Si un rayon tombe perpendiculairement sur IA (fig. 47), il passe sans être réfracté. Dans tous les cas, il se réfracte et d'autant plus fortement qu'il tombe d'une manière plus oblique;

2° Un rayon de lumière prend la même direction entre deux milieux soit en y entrant, soit en en sortant, toutes les autres circonstances étant égales.

Il y a à remarquer que quand un rayon tombe sur une surface, il se fait une réflexion, c'est-à-dire qu'ordinairement il n'y a qu'une portion de la lumière incidente qui pénètre dans le milieu, l'autre portion est réfléchie en faisant un angle de réflexion égale à celui de l'incidence, et plus le rayon incident tombe obliquement, plus la réflexion est considérable.

Il y a encore une observation importante à faire ici, c'est que, après chaque réfraction, le rayon lumineux n'est plus une ligne droite, mais bien un faisceau pyramidal, et chaque point de sa largeur offre une couleur différente. Nous reviendrons sur ce phénomène.

Nous sommes maintenant en état de parler de l'effet que les prismes de cristal peuvent produire sur la direction de la lumière (fig. 48). Il est évident, d'après ce qui précède, qu'un prisme triangulaire doit changer la direction de la lumière. Si *a b c* représente une section perpendiculaire aux arêtes du prisme, si *m n* est un rayon incident, il devra suivre la direction *n p q*; de sorte que le rayon, au lieu d'aller frapper le tableau TT' en *q*, ira au contraire le rencontrer en q'. Ainsi l'effet du prisme a été d'abaisser le rayon lumineux. En faisant tourner le prisme sur lui-même,

de manière à ce que les arêtes restent constamment parallèles, on fait voyager le point q' qui peut se rapprocher du point q et ne peut jamais l'atteindre, il en est le plus près possible quand les deux angles $q'pn$, pnm sont égaux. Quand le prisme est dans cette position, si on vient à le faire tourner dans un sens ou dans un autre, toujours autour de ses arêtes, le point q redescend et s'éloigne du point q. Nous avons supposé réduite à un point mathématique l'image q'; mais dans la réalité q représente une suite de bandes colorées. Nous parlerons plus tard de ce phénomène.

Les diverses sortes de microscopes et de télescopes consistant en verres, dont les faces sont des portions de sphère, pour concevoir exactement l'effet de ces instruments, il est important de connaître les propriétés des verres simples dont ils sont composés.

Quoique la forme des verres sphériques soit très variée, cependant en ne considérant que leurs propriétés essentielles, on peut les rapporter à deux espèces, les verres convexes et les verres concaves. Ces deux espèces se subdivisent :

La première en verres doublement convexes ou lentilles (fig. 49).

2. Plan convexes (fig. 50).
3. Concave, convexes (fig. 51).

La seconde en verres :

1. Donblement concave (fig. 52).
2. Plan concave (fig. 53).
3. Convexe, concave (fig. 54).

On appelle : 1° rayons de courbure des verres, les demi-diamètres des sphères dont ces verres sont les segments.

2° Axes : la droite qui joint les centres des deux sphères auxquelles appartiennent les surfaces du verre.

3° Centre optique, un certain point situé sur l'axe et dans l'intérieur du verre.

Quand on expose un verre convexe au soleil et qu'on reçoit sur une surface blanche la lumière qui se transmet à travers lui, cette lumière se réunit dans un certain espace, dont l'étendue varie avec la portion de la surface; si celle-ci se trouve d'abord très près du verre, et qu'on l'en éloigne peu à peu, l'espace lumineux devient de plus en plus petit. On arrive à un point où la lumière occupe le moins d'espace possible, et au-delà elle diverge,

Ce point se nomme foyer, et sa distance à la surface du verre la plus voisine est la distance focale.

Si on retourne le verre, le même phénomène a lieu ; un verre convexe a donc deux foyers, ils sont également éloignés des deux surfaces. Si celles-ci ont même rayon, pour les verres dont les faces ne sont pas symétriques, ces distances sont différentes.

Si l'on met la flamme d'une bougie au-devant d'un verre convexe, en deçà de la distance focale, l'œil placé de l'autre côté du verre voit l'image de cette flamme grossie, la grandeur et l'éloignement augmentent à mesure qu'on recule la lumière.

Si l'on place la flamme dans le foyer même, on ne trouve nulle part son image distincte, mais on aperçoit seulement une lueur vive qui consiste en grande partie en rayons parallèles et qui se continuent derrière la lentille, de manière à éclairer les objets éloignés.

Enfin, si l'on porte la flamme à une certaine distance au-delà de la distance focale, on en voit une image grossie et renversée sur la partie opposée. A mesure qu'on éloigne l'objet davantage de la flamme, cette image s'approche du foyer postérieur du verre et devient plus petit. Si la flamme est placée à une distance double de la distance focale, l'image se trouve à la même distance et elle a la même dimension que la flamme elle-même. Si l'on éloigne la flamme davantage, l'image se rapproche et devient plus petite, et si l'objet est très éloigné elle tombe enfin dans le foyer lui-même. Ainsi l'espace dans lequel un verre ardent brûle n'est autre chose qu'une petite image du soleil qui se forme à son foyer.

Si nous examinons les phénomènes analogues avec les verres concaves, nous verrons qu'en dirigeant un verre de cette espèce vers le soleil et en recueillant sur une surface blanche la lumière transmise, on voit que la lumière diverge, comme si elle venait d'un point situé dans la concavité du verre. On nomme ce point le foyer négatif et son éloignement de la surface antérieure, la distance focale négative. En retournant le verre, mêmes phénomènes.

Les rayons lumineux transmis à travers un verre concave forment des images droites qui sont plus rapprochées et plus petites que les objets eux-mêmes, la distance de l objet n'apporte aucune autre modification au phénomène que de faire paraître l'image un peu plus loin du verre à mesure que l'objet recule davantage; mais la limite extrême que peut atteindre l'image est le foyer an-

térieur, et c'est où paraissent les objets quand ils sont à un grand éloignement.

§ XXXVI. — *Décomposition et recomposition de la lumière.*

La lumière blanche est formée de sept couleurs principales qui sont le violet, l'indigo, le bleu, le vert, le jaune, l'orangé et le rouge. Du mélange de ces sept couleurs naissent toutes les couleurs présentées par la nature et les arts. Ces différentes couleurs sont inégalement réfrangibles. Pour le constater, il suffit de regarder, à travers l'angle réfringent d'un prisme droit de verre bien net, une bande de papier horizontale, dont une moitié est peinte en rouge et l'autre en bleu; on reconnaîtra, si le sommet de l'angle réfringent du prisme est en haut, que la bande bleue est plus haute que la bande rouge. Il est facile de comprendre que cette séparation est une suite de l'inégale réfrangibilité des deux couleurs.

La conséquence qui se tire naturellement de cette expérience est évidente; c'est que si la lumière blanche est composée de rayons inégalement réfrangibles, leur séparation s'opérera à travers le prisme et la décomposition de la lumière solaire sera démontrée. Pour réaliser cette expérience, on pratique au volet d'une chambre obscure une petite ouverture de deux millimètres; on place un prisme sur le passage du rayon solaire et dans une position telle que son axe soit perpendiculaire à la direction du rayon. On remarque que l'image reçue sur un carton est beaucoup agrandie; que le violet est la couleur la plus réfrangible; le rouge celle qui l'est le moins, et que l'ordre de réfrangibilité est le suivant: violet, indigo, bleu, vert, jaune, orangé, rouge.

Pour recomposer la lumière, il suffit de recevoir chacune des sept couleurs sur de petits miroirs plans. Au moyen de sept miroirs, on peut réfléchir les sept couleurs; et si l'on fait coïncider les sept images produites par la réflexion, on obtiendra une image blanche.

§ XXXVII. — *Structure de l'œil et Vision.*

L'œil est un globe pourvu de diverses enveloppes et placé dans la cavité qu'on appelle son orbite, et où il peut se mouvoir

aisément en toutes directions au moyen de quelques muscles. L'enveloppe ou la tunique extérieure de l'œil est composée d'une substance blanche, opaque et cornée ABCD (fig. 55). Elle s'appelle cornée opaque seulement sur le devant, entre A et D; où elle se livre en forme plus courbée, et où elle est parfaitement diaphane; elle prend le nom de cornée transparente. Sous la cornée opaque on trouve la membrane choroïde, qui est composée d'une matière couleur obscure, et sous celle-ci est appliquée la rétine, qui est une membrane blanche et presque visqueuse que la plupart des anatomistes considèrent comme le siége propre de la sensation de la lumière. Cette membrane est formée par la continuation de la partie médullaire du nerf optique, lequel vient du cerveau et passe dans l'œil en B C, derrière la cornée transparente A D. La choroïde se détache et se divise en deux parties, dont l'une s'arrondit comme un anneau, et forme cette ouverture ronde appelée pupille ou la prunelle. La membrane qui ferme cet anneau a reçu le nom d'iris, à cause de la variété de ses couleurs. Elle consiste en un tissu fort délicat de fibres contractiles qui rétrécissent la prunelle quand l'œil est frappé par une lumière forte, et qui reviennent à leur premier état quand la lumière est faible. Ces opérations se font indépendamment de notre volonté et même sans que nous nous en apercevions.

Derrière l'iris est un corps FF assez consistant, transparent et lenticulaire, qui partage l'intérieur de l'œil en deux espaces inégaux que l'on nomme les chambres antérieure et postérieure. Ce corps s'appelle le cristallin. La chambre antérieure contient l'humeur aqueuse dont le nom exprime la nature; la chambre postérieure est remplie d'une matière transparente et comme gélatineuse : c'est ce qu'on appelle l'humeur vitrée.

Une ligne CB, qui passe à travers la pupille et perpendiculairement aux deux faces du cristallin, se nomme l'axe de l'œil. Dans un œil bien conformé, cet axe est dirigé sur l'objet qu'on regarde, de sorte que c'est au point B que se produit la sensation la plus forte de la vue.

La vision a lieu, parce que sur le fond de l'œil se peint, pour ainsi dire, une petite image renversée, mais très précise de l'objet vers lequel l'œil est dirigé; soit H I (fig. 55) un objet que regarde l'œil. Chacun de ses points, qui sera ou lumineux ou éclairé, enverra des rayons en toutes directions. Nous choisissons le point G pour exemple. Une petite partie de ses rayons

pénètre, par la pupille, dans l'intérieur de l'œil, en formant un cône qui est indiqué par trois lignes dans la figure. Le rayon central de ce cône traverse l'œil sans dévier de sa direction, et va marquer sur la rétine le point que doit représenter G. Les autres rayons qui l'environnent sont réfractés, mais de manière qu'ils se réunissent tous au même point *g*. Maintenant si G était coloré en bleu, par exemple, *g* ne recevrait que de la lumière bleue et serait lui-même coloré; ainsi ce serait donc une image du point G. La même chose a lieu pour tous les rayons qui viennent d'un point quelconque à l'objet. Par exemple, de *h* ou de *i*, en menant ainsi de chaque point lumineux une ligne droite à peu près par le milieu du cristallin, on peut trouver la place où ce point est représenté sur la rétine. Ainsi H se peint en *h* et I en *i*, et l'on voit que de cette manière il doit se produire dans l'œil une petite image renversée de l'objet.

L'expérience apprend que nous ne voyons bien distinctement ni les objets trop rapprochés, ni les objets trop éloignés, et qu'il se trouve pour tous les yeux une certaine distance où l'on voit les objets de la manière la plus précise. Cela est conforme aux lois de l'optique; car on peut démontrer, par les principes de la réfraction, que les rayons d'un point trop rapproché ne se réuniraient pas justement sur la rétine, mais un peu derrière; les rayons d'un objet éloigné, au contraire, auraient leur point de jonction un peu en avant de la rétine, et, dans les deux cas, il ne peut se produire une image bien déterminée. Mais nous savons, par exemple, que dans l'œil la nature a remédié à ce défaut jusqu'à un certain point. Quelques personnes pensent que le cristallin est susceptible de se mouvoir un peu en avant ou un peu en arrière; mais il est plus vraisemblable que la courbure de sa surface peut prendre de légères variations.

La distance de la vision distincte est très différente pour diverses personnes; on la place à huit pouces en général. On nomme myope celui pour qui elle est plus rapprochée, et presbyte celui pour qui elle est plus éloignée; mais ces deux défauts de la vue viennent plus souvent de l'habitude que de la contraction de l'œil.

§ XXXVIII. — *Donner une idée des instruments d'optique les plus simples, tels que la chambre claire, la chambre noire, la loupe, le microscope simple, le microscope solaire, la lunette de Galilée, la lunette astronomique, les télescopes.*

La chambre claire consiste en une boîte quadrangulaire au-devant de laquelle est placé un verre convexe de quelque étendue. Derrière celui-ci se trouve dans la boîte un miroir plan placé sous un angle de 45 degrés, qui réfléchit vers le couvercle les images qui sans lui auraient été peintes sur la paroi postérieure. Devant le miroir plan, on pratique une ouverture à laquelle on adapte un second verre convexe au travers duquel on regarde l'objet.

Dans la chambre noire, les images des objets éloignés sont produites par un verre convexe un peu grand; or, ces images sont reçues immédiatement sur un carton blanc, ou sur un plateau de verre dépoli, ou bien elles sont réfléchies vers le haut ou vers le bas par un miroir plan placé à quelque distance derrière le verre, et qui fait avec lui un angle de 45 degrés, de sorte que les images peuvent être recueillies sur un plan horizontal.

Les verres grossissants, qui ont depuis six lignes jusqu'à quelques pouces de distance focale, se nomment loupes. Quand cette distance est moindre que six lignes, on les appelle microscopes simples ou lentilles microscopiques.

Comme il faut toujours que l'image soit à la distance de la vision distincte, c'est-à dire à huit pouces environ au devant du verre, on conçoit, par la seule inspection de la figure (56), qu'il faut toujours que l'objet F G soit très près du foyer D. Si l'image *fg* doit être éloignée du verre, de seize fois sa distance réelle ou davantage pour l'usage du microscope, l'objet doit être presque au foyer. D'après cette remarque, on a un moyen facile d'estimer le grossissement d'un microscope; car, à cause de la similitude des triangles F H C, *fhc*, l'objet F H est à l'image *fh* comme la distance de l'objet HC est à la distance de l'image *hc*. Dans un microscope HC doit être seulement un peu plus petite que la distance focale, et alors *hc* est à peu près huit pouces; ainsi la distance focale est à huit pouces comme l'unité est au nombre qui exprime le grossissement.

Le microscope solaire est un instrument destiné à observer des objets de très petite dimension. La lentille A a un foyer très court. On place en avant un objet très petit $m\,n$ un peu au-delà de la distance focale, alors il se forme une image amplifiée que l'on peut recevoir sur un écran; mais pour que l'image soit brillante, il faut accumuler de la lumière sur l'objet. Pour cela, on place à l'extérieur une lentille B qui reçoit les rayons solaires réfléchis par un miroir (fig. 57).

La lunette de Galilée n'est composée que de deux verres. L'oculaire est une lentille divergente; il est placé en avant du lieu de l'image $m'\,n'$ formée par l'objectif. Les rayons élémentaires qui composent chaque faisceau émané des différents points de l'objet en traversant l'oculaire, deviennent sensiblement parallèles. Ces faisceaux se croisent, et leur prolongement représente l'image droite $m'\,n'$. Dans ces lunettes, la position de l'œil la plus favorable est très près de l'oculaire; car, à mesure qu'il s'éloigne, il perd une partie des rayons. Cette disposition est employée pour les lunettes de spectacle, parce qu'elle permet de ne leur donner qu'une très petite longueur; rarement on y emploie des objectifs achromatiques, parce qu'étant destinés à servir le soir, les couleurs qui s'y développent n'y sont pas très vives, d'autant plus que leur grossissement n'est jamais fort considérable (fig. 58).

La lunette astronomique la plus simple est composée de deux verres lenticulaires.

L'image $m'\,n'$ se fait sensiblement au foyer principal de l'objectif; comme pour les corps célestes, l'idée de la grandeur n'est fondée que sur le diamètre apparent de l'image, attendu que l'éloignement ne permet d'avoir aucun sentiment direct de leur distance précise. Le grossissement est égal au rapport du diamètre apparent de l'image et de l'objet. Or, en supposant que l'objet soit assez éloigné pour que l'on puisse négliger, par rapport à sa distance à l'œil, la distance de la vision distincte, les angles visuels de l'objet et de son image sont $m'\,A'\,n'$ et $m''\,O\,n''$, ou $m'\,B\,n'$, et ces angles sont sensiblement dans le rapport des distances focales de l'objectif et de l'oculaire (fig. 59).

Télescope d'Herschell.

Cet appareil est formé d'un tuyau au fond duquel se trouve un miroir métallique sphérique, concave; les rayons, émanés

des objets extérieurs, forment en avant du miroir une image m' n', que l'on regarde avec une loupe ou avec un oculaire achromatique. Dans cette disposition, l'observateur intercepte une partie des rayons incidents. Mais quand l'axe du miroir est un peu incliné sur l'axe du faisceau incident, l'image se forme alors hors de l'axe; le sommet seul de la tête se trouve dans le trajet des rayons; et si le miroir est très grand, la quantité de lumière interceptée est fort petite (fig. 60).

Télescope de Newton.

Cet instrument est encore composé d'un tuyau terminé par un miroir; mais il renferme un petit miroir plan, incliné à 45°, qui rejette l'image m' n' perpendiculairement à sa direction; de sorte qu'on peut l'observer par un oculaire situé parallèlement au tuyau. Cette disposition évite ainsi l'interposition de l'observateur dans les rayons incidents, et permet d'employer les miroirs de toutes dimensions; mais elle occasionne une perte considérable de lumière par la réflexion sur le miroir plan (fig. 61).

CHAPITRE XII.

MÉTÉOROLOGIE..

§ XXIX.—*Moyenne hauteur annuelle du baromètre en différents lieux, limites des oscillations extrêmes, variations horaires à diverses latitudes.*

L'état de l'atmosphère est lié entièrement à l'indication barométrique, aussi son étude est très importante; dans nos climats on observe le baromètre quatre fois par jour : à neuf heures du matin, à midi, à trois heures de l'après-midi, à neuf heures du soir.

L'observation de midi donne la hauteur moyenne du jour, et

par suite la hauteur moyenne du mois et de l'année; les trois autres observations servent à déterminer les variations horaires, ou ce qu'on appelle quelquefois la période barométrique.

La direction des vents a une grande influence sur la hauteur moyenne du baromètre, car en consultant le registre des observations on trouve qu'à Paris la plus petite hauteur correspond aux vents du sud, sud-ouest, et la plus grande aux vents du nord, nord-est. La différence s'élève à plus de 7 millimètres.

En examinant les variations du mois, on trouve, pour un ensemble de onze années, que, de neuf heures du matin à trois heures du soir, le niveau du baromètre descend de $\frac{3}{4}$ de millimètre, et de trois heures à neuf heures, il remonte d'un tiers de millimètre.

Pour trouver l'influence des saisons, on prend les valeurs moyennes des périodes pour chacun de ces mois. On trouve à Paris que la période de trois heures du soir à neuf heures du soir n'éprouve que des variations petites et irrégulières dans les différents mois; que la période de neuf heures du matin à trois heures du soir éprouve au contraire des variations considérables, et dans lesquelles se laisse apercevoir une sorte de régularité, car la valeur de cette période se maintient constamment moindre pendant les trois mois de novembre, décembre et janvier, constamment plus grande pendant les trois mois de février, mars et avril, et conserve une valeur intermédiaire et variable pendant les six autres mois de l'année.

Entre les deux périodes du matin et du soir dont nous venons de parler, il y a aussi deux périodes de nuit. Le baromètre descend depuis neuf heures du soir jusqu'à quatre heures du matin, et remonte depuis quatre heures du matin jusqu'à neuf heures du matin, où il atteint son *maximum*. D'après des résultats publiés par différents voyageurs, on peut dire que la période du matin, à peu près constante sous l'équateur, dans toute la zone des tropiques et jusqu'à la hauteur de 3,000 mètres, diminue ensuite rapidement à mesure que la latitude augmente. C'est sans doute dans cette loi de diminution progressive que l'on doit chercher les causes du phénomène; tout semble indiquer qu'il tient à la température plus encore que la position du soleil.

§ XL. — *Températures moyennes annuelles à la surface du sol à diverses latitudes, climats tempérés, climats excessifs, températures à diverses profondeurs.*

La température moyenne d'un lieu pendant un jour est la moyenne des températures correspondantes à tous les instants dont ce jour se compose. On a reconnu que la demi-somme des températures *maximum* et *minimum* de chaque jour (celles de trois heures après-midi et du lever du soleil), la température moyenne d'un mois, est la somme des températures moyennes de tous les jours du mois, divisée par le nombre de ces jours. Sur plusieurs registres d'observations l'on a coutume de diviser les trente jours en trois séries de dix jours ; alors, après avoir pris la moyenne pour chacune de ces trois séries, il reste à prendre la moyenne des trois séries.

La température moyenne de l'année est la somme des températures moyennes des douze mois, divisée par douze ; mais il est important de remarquer que l'on arrive au même résultat ou à peu près par deux autres méthodes, 1° en prenant seulement la moyenne du seul mois d'octobre ; 2° en prenant la moyenne des températures correspondantes à une seule heure de la journée qui serait pour notre latitude neuf heures du matin.

L'on ne cherche la température moyenne de l'année que pour arriver à la température moyenne du lieu ; celle-ci est la moyenne de toutes les moyennes annuelles. Il faut de nombreuses années d'observations pour obtenir un résultat qui approche un peu de la vérité.

Sur un même méridien la température moyenne diminue en allant de l'équateur vers les pôles, et sur une même verticale, la température diminue avec l'élévation absolue ; ainsi la latitude et la hauteur au-dessus du niveau de la mer sont les deux causes générales qui déterminent la température moyenne d'un point de la terre, mais l'influence de ces causes est modifiée par une foule d'influences accidentelles ou locales. La distance à la mer, la présence des montagnes, la nature du sol, la culture et son inclinaison, la direction des vents, sont autant de causes secondaires qui modifient sans cesse les causes générales.

Les climats sont caractérisés en ce qui dépend de la chaleur, et par la température moyenne de l'année, et par les variations que la température des jours, des mois et des saisons, peut

éprouver. On peut dire que le climat est brûlant dans la zone torride, chaud dans la zone à 23°, doux dans la zone de 20°, tempéré dans la zone de 15°, froid dans la zone de 10°, très froid dans la zone de 5°, et glacé dans la zone dont la température moyenne est au-dessous de zéro. Mais les climats qui appartiennent à la même zone doivent se distinguer entre eux ; on appelle climats constants ceux qui n'offrent pas de grandes différences dans le cours de l'année entre les extrêmes de la chaleur et du froid, climats variables ceux qui offrent de très grandes différences.

La variation de température observée dans un même lieu à la surface du sol est plus sensible que celle que l'on remarque si l'on descend à quelques pieds au-dessous du sol. Aussi remarque-t-on que généralement les caves sont froides en été et chaudes en hiver. A une certaine profondeur, la température ne varie plus. On a trouvé ainsi que, dans la cave de l'Observatoire, un thermomètre qui y est placé, a constamment marqué, pendant un espace de trente-deux années, la température de 11°, 82. La température invariable ne se trouve pas à la même profondeur dans les différentes localités. En général, près de l'équateur il faut descendre deux ou trois pieds de profondeur, tandis qu'aux pôles il faudrait peut-être descendre à plusieurs centaines de pieds pour obtenir une température invariable.

La température observée dans l'intérieur de la terre varie avec la profondeur; des expériences très précises ont établi que plus l'on s'enfonce, plus la chaleur augmente, et que le degré d'accroissement est d'environ un degré par chaque distance de 30 mètres.

Si l'on s'élève au-dessus du sol on remarque que la température décroît, on en voit une preuve assez frappante dans les neiges éternelles qui couvrent les hautes montagnes, on a reconnu que la température décroît de 1° pour 150 mètres de hauteur.

§ XLI. — *Quantité de pluie à diverses hauteurs et en différents lieux; formation de la rosée, de la gelée blanche, du verglas, etc.*

La quantité de pluie qui tombe annuellement sur un même point de la terre, est un élément météorologique dont la détermination est très importante. Les instruments qui servent à cet usage sont appelés udomètres ou pluvimètres. La figure 62 repré-

sente l'udomètre ordinaire, c'est un cylindre en cuivre de 6 à 8 pouces de diamètre, il se compose d'un récipient cc' et d'un réservoir ss'. Le récipient porte un fond conique, percé d'une ouverture o, il s'ajuste sur le réservoir ss'; au fond de celui-ci s'ouvre un tube, coudé TT, qui se relève le long de la paroi extérieure, là il reçoit un tube en verre vv' qui est divisé en parties égales, et qui sert à indiquer la hauteur du liquide intérieur. On mesure exactement la surface du récipient cc', on jauge le réservoir ss' pour connaître la quantité de liquide qui correspond aux diverses divisions du tube vv'; et il est facile d'en déduire la quantité de pluie, c'est-à-dire l'épaisseur de couche qu'elle aurait formée dans un vase à fond plat et horizontal.

Avec cet appareil on a reconnu que la quantité moyenne de pluie qui tombe à Paris, dans la cour de l'Observatoire, est de 56 centimètres, tandis que celle qui tombe sur la terrasse est seulement de 50 centimètres, d'où il résulte ce fait remarquable, qu'à Paris, la quantité de pluie qui tombe à 28 mètres de hauteur, n'est que les $\frac{8}{9}$ à peu près de celle qui tombe sur le sol.

On présume que ce phénomène dépend en grande partie de la condensation que les gouttes de pluie froide déterminent dans la vapeur, en traversant les couches inférieures de l'atmosphère, et peut-être aussi des brouillards qui sont toujours plus denses à la surface du sol et qui déposent une quantité d'eau notable.

La neige paraît due à la congélation de l'eau de l'atmosphère au moment même où s'est opéré le refroidissement qui a déterminé la précipitation; la grêle est sans doute le résultat de la congélation des gouttes de pluie toutes formées. Quant aux grelons d'un très gros volume, leur formation paraît se rattacher à l'électricité.

La rosée qui se dépose sur les corps situés en plein air à la surface de la terre et que l'on observe par un ciel serein, soit après le coucher du soleil, soit pendant la nuit jusqu'au lever du soleil, est causée par la précipitation de l'humidité des couches d'air en contact avec ces corps, lesquels se sont refroidis en rayonnant leur calorique vers les hautes régions de l'atmosphère dépourvues de nuages. Cette explication a été découverte en observant toutes les circonstances de ce phénomène; elle explique complétement les résultats de ces observations que nous présenterons ici comme des vérifications.

Et suivant avec soin le phénomène de la formation de la rosée, on a vérifié que la température des corps sur lesquels elle se dépose s'abaisse avant que cette précipitation ait lieu ; quand le ciel est couvert de nuages on n'observe pas sensiblement de rosée, parce que les corps de la surface de la terre qui rayonnent leur chaleur vers les nuages, en reçoivent en échange des quantités de chaleur presque égales à celles qu'ils ont émise, tandis que quand le ciel est découvert le rayonnement est alors tout-à-fait libre.

Le givre ou la gelée blanche s'observe dans nos climats pendant les fraîches matinées du printemps et de l'automme, la cause est la même que celle de la rosée, car le givre n'est autre chose que de la rosée congelée ; quand le ciel est serein, l'air calme et humide, et que la température de la nuit est seulement de 4 à 5° au-dessus de zéro, certains corps peuvent tomber par le rayonnement à une température plus basse que zéro, et alors les gouttelettes de rosée dont ils se sont d'abord couverts, cristallisent en petites aiguilles qui s'entrelaçent de mille manières. L'exposition a peut être plus d'influence encore sur la formation du givre que sur celle de la rosée, parce qu'une fois que les corps sont revêtus d'une couche de rosée suffisamment épurée, ils ont le même pouvoir rayonnant et leur refroidissement intérieur s'accomplit suivant les mêmes lois.

Le verglas se forme à la suite des grands froids, par une élévation de température accompagnée de pluie ou de neige fondue. La terre n'ayant pas eu le temps de prendre la température de l'atmosphère, refroidit l'eau qui se trouve en contact avec elle assez fortement pour la congeler.

§ XLII. — *Électricité atmosphérique; effets de la foudre; construction du paratonnerre.*

En étudiant l'état électrique des nuages qui passent successivement au-dessus d'un cerf volant, on reconnaît, par expérience, qu'ils sont chargés, les uns d'électricité vitrée, les autres d'électricité résineuse, et il s'en trouve qui sont à l'état naturel. Bien que nous ne sachions rien sur l'arrangement de l'électricité dans l'intérieur des nuages et à leur superficie, nous pouvons cependant conclure avec certitude qu'ils se repoussent quand ils ont la même électricité, et qu'ils s'attirent quand ils sont d'une électricité contraire. Ces attractions et répulsions entrent sans doute

pour quelque chose dans le mouvement extraordinaire que l'on observe dans le ciel au moment des orages. Le vent n'est plus alors la seule puissance qui emporte les nuages, son influence est modifiée par les actions électriques qui s'exercent avec plus ou moins d'energie sur ces amas considérables de vapeurs, aussi les voit-on s'approcber rapidement, ou s'éloigner comme s'ils étaient poussés en sens contraire, ou tournoyer comme sur eux-mêmes comme si le vent qui les emporte n'était lui-même qu'un vaste tourbillon. C'est au milieu de cette agitation générale de l'atmosphère que l'on voit briller l'éclair et que l'on entend retentir les éclats du tonnerre.

Le tonnerre tombe quand l'éclair jaillit entre un nuage et les corps placés à la surface de la terre; on dit alors que ces corps sont foudroyés; dans le langage de la science, ce mot n'emporte pas nécessairement une idée de destruction parce que la foudre ne détruit pas inévitablement tout ce qu'elle frappe. Autrefois on discutait beaucoup plus la question de savoir si la foudre tombe du ciel ou si elle s'élève de la terre aux nuages. Ce qu'il y a de certain, c'est que jamais la foudre ne tombe et que jamais elle ne s'élève, car il n'y a jamais translation du fluide électrique de l'un à l'autre des deux points extrêmes de l'éclair. C'est par le choc direct que la foudre produit ces effets. Quand elle frappe le sol elle y marque son passage par un ou plusieurs trous plus ou moins profonds; la terre en est remuée, fouillée, arrachée.

Si quelques petites éminences s'élèvent sur les plaines elles sont frappées plutôt parce qu'elles sont plus rapprochées des nuages; par la même raison, toute élévation au-dessus du sol est plus exposée aux coups de la foudre, et ce qu'il faut surtout remarquer, c'est que ce sont les objets les meilleurs conducteurs de l'électricité qui sont frappés les premiers.

Les nuages orageux ne se forment, pour l'ordinaire, que dans certaines saisons de l'année, et de préférence en certains lieux, parce que l'état électrique de l'air n'a pas la même intensité dans tous les lieux et dans toutes les saisons; et en cet état la vapeur concourt puissamment à produire ces phénomènes, car elle peut acquérir des tensions bien différentes aux diverses températures, et par conséquent former des amas ou des nuages dont la constitution est très différente, soit pour la conductibilité, soit pour les autres propriétés électriques.

Les paratonnerres se composent d'une tige métallique pointue qui s'élève dans les airs, et d'un conducteur qui descend de

la tige jusqu'au sol. Les conditions nécessaires pour qu'ils puissent produire leur effet sont :

1° Que la pointe de la tige soit bien aiguë;

2° Que le conducteur communique parfaitement au sol;

3° Que depuis la pointe jusqu'à l'extrémité inférieure du conducteur, il n'y ait aucune solution de continuité;

4° Que toutes les parties de l'appareil aient des dimensions convenables.

HUITIÈME PARTIE.

CHIMIE.

CHAPITRE PREMIER.

1° CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LA NATURE DES CORPS, ET SUR LA FORCE QUI UNIT LEURS PARTIES CONSTITUANTES.

Il existe dans la nature deux séries de corps : les corps simples qui sont en plus petit nombre, et les corps composés qui forment presque à eux seuls tous les corps de la nature.

Les corps simples sont ceux chez lesquels on n'est pas encore parvenu à retirer plus d'une seule substance ; tels sont le soufre, le fer, le plomb, l'oxigène, l'hydrogène, etc. Ces corps simples sont aujourd'hui au nombre de cinquante-quatre, et ce sont eux qui, combinés deux à deux, trois à trois, etc., forment tous les corps composés.

Tous les corps simples et composés sont formés d'une multitude de petites parties qu'on peut appeler molécules, atomes ou particules ; faisons remarquer pourtant que cette dernière dénomination s'applique plus spécialement aux molécules des corps simples. Afin de ne point confondre ces deux sortes de molécules, on a désigné sous le nom d'atomes intégrants ceux de tous les corps simples, et d'atomes constituants, ceux de tous les corps composés.

Lorsqu'on met deux corps simples en contact l'un avec l'autre dans de certaines circonstances, on remarque qu'ils s'unissent, et que de cette union résulte un composé qui ne ressemble ni à l'un ni à l'autre des corps simples employés. C'est à cette union, à ce phénomène qu'on donne le nom de *combinaison*. Ainsi quand on fait chauffer dans un creuset quarante parties de plomb et dix de soufre, on obtient un composé homogène, dans lequel on ne découvre plus ni le plomb ni le soufre, mais dont chaque molécule,

quelque fine qu'elle soit, contient proportionnellement la même quantité de plomb et de soufre.

Tous les corps ne se combinent pas les uns avec les autres dans les circonstances ordinaires, parce que différentes causes s'y opposent; seulement on peut dire que tous tendent à se combiner. On explique cette tendance à la combinaison en admettant une force inhérente aux molécules ou atomes de la matière, et qu'on a appelée attraction moléculaire ou atomique. Cette attraction prend différents noms, selon qu'elle a lieu entre des atomes similaires ou des atomes de nature différente : dans le premier cas, on l'appelle cohésion, et dans le second affinité.

COHÉSION. — La cohésion, comme nous venons de le dire, étant cette force qui unit les atomes de même nature, c'est-à-dire les atomes intégrants d'un corps, doit être d'autant plus grande que l'effort nécessaire pour désunir les particules ou atomes de ce corps sera lui-même plus grand; il suit de là qu'elle est presque insensible dans les gaz, qu'elle est faible dans les liquides, et plus ou moins grande dans les solides. C'est cette force qui s'oppose le plus à la combinaison des corps: en effet, tant que la cohésion l'emporte sur l'affinité, la combinaison ne peut avoir lieu, ce qui explique pourquoi les corps solides ne se combinent que très rarement. Soit du plomb et du soufre dont la cohésion pourra être représentée par 7, et dont l'affinité des particules du soufre pour celles du plomb ne le sera que par 6; il est évident que la combinaison n'aura pas lieu; mais vient-on par un moyen quelconque à diminuer la cohésion, bientôt la combinaison s'opère; aussi la chaleur, ayant pour effet de fondre le plomb, par conséquent de diminuer sa cohésion, devient-elle un excellent moyen pour favoriser sa combinaison avec le soufre.

AFFINITÉ. — L'affinité est cette force qui agit sur les atomes de nature différente. Tous les corps ne jouissent pas les uns pour les autres du même degré d'affinité; ainsi, par exemple, si l'on chauffe du cinabre (formé de soufre et de mercure) avec du fer, celui-ci s'emparera du soufre, et mettra à nu le mercure qui se volatilisera, ce qui prouve que le soufre a plus d'affinité pour le fer que pour le mercure. On nomme quelquefois cette affinité élective, en raison du choix que certains corps font de certains autres.

L'affinité peut être modifiée de différentes manières :

1° *Par la quantité d'un corps mis en présence d'un autre.* Exemple : si l'on fait passer un courant d'acide sulfhydrique dans une dissolution de carbonate de potasse (acide carbonique et

potasse), on voit bientôt se produire un dégagement d'acide carbonique, pendant que le gaz sulfhydrique se combine à la potasse. Fait-on l'opération inverse, on voit que le dégagement n'est plus que de l'acide sulfhydrique pendant que l'acide carbonique se combine à la potasse. Dans ce cas, il faut bien admettre une affinité plus grande de l'un des acides pour la potasse, et l'expérience prouve que c'est l'acide carbonique; mais en raison du courant continu d'acide sulfhydrique, la décomposition a lieu, puisque l'acide carbonique se dégageant ne peut contrebalancer les effets du premier acide.

2° *La quantité relative des corps entre lesquels la combinaison peut avoir lieu, influe beaucoup sur l'affinité.* Supposons un corps A capable de s'unir en trois proportions à un autre corps B, de manière à former : 1° un corps A B, 2° un autre A B B, et un troisième A B B B. On remarque alors que le corps B tient d'autant plus au corps A, qu'il y est en plus petite quantité par rapport à l'autre. Ainsi, dans de certaines circonstances, le corps A B B B pourra perdre du corps B jusqu'à ce que le corps soit devenu A B B. Ce dernier corps lui-même pourra perdre, mais plus difficilement, du corps B pour devenir A B. Enfin ce n'est que très difficilement qu'on pourra défaire la combinaison A B, ce qui se rapporte à ce que nous avons dit : l'eau et le bi-oxide d'hydrogène nous offrent un exemple de ce que nous venons d'avancer; dans l'eau, il y a un volume d'oxigène uni à deux d'hydrogène; dans le bi-oxide d'hydrogène, il y a deux volumes d'oxigène pour deux d'hydrogène. Chauffe-t-on seulement ce dernier composé que bientôt la moitié de l'oxigène quitte la combinaison, tandis qu'il ne reste que de l'eau que la chaleur ne décompose plus.

3° *Lorsqu'un corps est combiné à un autre corps, son action sur un troisième corps est nulle ou presque nulle.* Exemple : le bisulfate de potasse, formé de deux fois autant d'acide sulfurique que le sulfate neutre de potasse, rougit moins la teinture de tournesol que ne le ferait l'acide libre; le sulfate neutre ne la rougit même pas.

4° Nous avons vu plus haut que *la cohésion influait aussi puissamment sur l'affinité.*

5° *Le calorique n'a pas toujours la même influence sur l'affinité.* Ainsi quelquefois il décompose des combinaisons sans pouvoir les reproduire, d'autres fois il augmente l'affinité; dans

le premier cas, c'est en éloignant les atomes et diminuant l'attraction; tel est le deutoxide de chlore que la chaleur décompose en chlore et en oxigène; dans le second, c'est en diminuant la cohésion comme nous l'avons vu precédemment à l'article cohésion. Cependant le calorique agit quelquefois différemment; en effet, que l'on fasse un mélange d'oxigène et d'hydrogène, dans lequel on fera arriver une étincelle électrique, ou dans lequel on plongera une bougie allumée; aussitôt une détonation produite par la combinaison aura lieu. Or, dans ce cas, on ne peut pas attribuer la combinaison aux deux raisons précédentes; mais on admet avec raison que la chaleur détermine dans les gaz deux états opposés d'électricité, d'où résulte la combinaison.

6° *L'affinité est souvent déterminée par l'état électrique du corps.* On sait en effet que deux corps électrisés de la même manière se repoussent, pendant que deux corps électrisés différemment s'attirent.

7° *L'affinité est encore modifiée par la densité des corps.* Quand deux corps ont une densité différente, le corps le plus lourd gagne le fond, et alors on conçoit que le mélange étant moins intime, la combinaison ne doit point se faire, ou se faire très lentement.

8° *Enfin, la pression influe aussi souvent sur l'affinité.* Elle agit sur les gaz en sens inverse de la chaleur. Soit un morceau de marbre composé de chaux et d'açide carbonique que l'on chauffe. Si l'opération se fait en vase ouvert, la chaleur chassera l'acide carbonique, et la chaux restera pure; mais si on agit dans un canon de fusil hermétiquement fermé, l'acide carbonique comprimé ne se séparera pas, ou bien se recombinera à la chaux pendant le refroidissement. L'acide carbonique ne se dissout qu'en faible proportion dans l'eau; mais si on le comprime sur de l'eau, celle-ci peut s'en charger de cinq à six fois son volume; vient-on après à faire cesser la pression, alors l'acide reprend son état élastique, et se dégage en faisant mousser l'eau, comme on peut le voir dans une eau gazeuse.

Moyennant la connaissance de ces diverses propositions, et bien que nous ne puissions rapporter ici toutes les causes qui modifient l'affinite, on peut facilement comprendre presque tous les phénomènes chimiques. Nous dirons seulement en thèse générale que quand les corps s'unissent, il se produit presque toujours de la chaleur, et quelquefois même de la lumière.

Un composé étant donné, on peut dans une foule de cas, au

moyen d'autres corps et de forces suffisantes, parvenir à le décomposer. Cette manière d'opérer est appelée analyse, pendant qu'on donne le nom de synthèse aux opérations habituelles, qui ont pour but la combinaison des corps.

Ceci étant bien compris, la chimie peut être définie : une science qui fait connaître les phénomènes qui résultent de l'action atomique et réciproque de tous les corps les uns sur les autres.

Nous ne devons pas quitter les considérations sur la force qui unit les corps sans parler ici de ce phénomène connu sous le nom de *cristallisation.*

CRISTALLISATION. — Lorsqu'un corps passe lentement de l'état gazeux ou liquide à l'état solide, on remarque que ses atomes se réunissent par les faces qui se conviennent le mieux, de manière à donner naissance à un solide régulier, offrant la même forme pour chaque corps, et auquel on a donné le nom de cristal; le phénomène qui le produit est appelé cristallisation.

Pour que la cristallisation s'opère bien, il est essentiel que le refroidissement soit lent et régulier; un refroidissement trop brusque donnerait lieu à la formation d'une masse confuse que l'on nomme précipité. La cristallisation s'opère tantôt par l'intermède du feu, tantôt par celui des liquides.

1° Par l'intermède du feu, on opère de deux manières : quand le corps est volatil, on le chauffe, et la vapeur qui se forme est reçue sur un corps plus froid que le foyer d'où la vapeur s'est formée, et où elle se condense en affectant la forme de cristaux ; si le corps est fusible sans être volatil, on le fond dans un têt, on le laisse refroidir lentement ; et lorsqu'il s'est formé une croûte à sa surface, on la perce et l'on décante les parties encore liquides qui laissent à nu celles qui se sont cristallisées.

2° Par l'intermède des liquides la cristallisation s'obtient encore par deux procédés. Tantôt la substance est dissoute à chaud, et cristallise par le refroidissement du liquide; tantôt la dissolution saturée à froid est abandonnée à une évaporation spontanée, le liquide en s'évaporant laisse déposer les cristaux.

Remarquons ici que les cristaux contiennent le plus souvent une certaine quantité d'eau qu'on nomme eau de cristallisation.

2° NOMENCLATURE CHIMIQUE.

Ordre d'après lequel les corps doivent être étudiés.

La première idée de la nomenclature paraît être due à Guyton de Morveau. Le but de cette méthode est de donner aux diverses combinaisons des noms significatifs qui rappellent de suite les éléments qui les composent. Quant aux corps simples, les meilleurs noms qui doivent servir à les désigner sont ceux qui sont insignifiants et courts : le mot fer est très convenable, pendant que le mot iode est vicieux, puisqu'il y a d'autres corps dont la couleur est violette, et auxquels le mot conviendrait tout aussi bien; mais en n'y attachant aucune idée de couleur, ce nom est commode parce qu'il est court, ce qui permet de le combiner facilement à d'autres mots.

Avant d'aller plus loin, nous devons ici donner le nom de tous les corps simples connus, et nous allons les présenter de telle manière que chaque corps est électro-négatif par rapport à ceux qui le suivent, et électro positif par rapport à ceux qui le précèdent. Les corps simples sont au nombre de cinquante-quatre; savoir :

oxigène,	chrôme,	iridium,	cobalt,
fluor,	tungstène,	rhodium,	nickel,
chlore,	carbone,	platine,	fer.
brome,	bore,	palladium,	cadmium,
iode,	silicium,	mercure,	zinc,
azote,	colombium,	argent,	manganèse,
soufre,	titane,	cuivre,	zirconium,
sélénium,	antimoine,	urane,	thorium,
phosphore,	tellure,	bismuth,	aluminium,
arsenic,	or,	étain,	yttrium,
molybdène,	hydrogène,	plomb,	glucinium, etc.
vanadium,	osmium,	cérium,	

Les corps simples sont divisés en deux grandes séries : la première comprend l'oxigène, l'hydrogène, le carbone, le bore, le silicium, le phosphore, le soufre, le sélénium, le chlore, le brome, l'iode, le fluor, l'azote. Ces corps ont pour caractères communs de conduire mal la chaleur et l'électricité, on les désigne sous le nom de *métalloïdes*. Tous les autres au contraire condui-

sent bien la chaleur et l'électricité, on les appelle *métaux*. On remarque que généralement les métalloïdes s'unissent bien aux métaux, et qu'ils sont électro-négatifs par rapport à ces derniers.

Quand on veut former le nom d'un corps composé, on doit le former de manière à donner une idée de sa composition; mais, en même temps, on place toujours le nom du corps électro-négatif le premier; ainsi dans cet exemple, acide chlorhydrique; le mot chlor indique un élément du composé, et il commence le nom, car il est électro-négatif par rapport à l'hydrogène que représente le mot hydrique.

Quand deux corps simples sont combinés, ils possèdent des propriétés particulières. Tantôt ils ont une saveur aigre, et rougissent la teinture de tournesol : on leur donne le nom général d'*acides;* tantôt leur saveur est âcre, urineuse et alcaline; ils verdissent le sirop de violette : on leur donne le nom d'*alcalis* ou d'*oxides* et plus généralement de *base*.

ACIDES. — Quand l'acide est formé d'oxigène et d'un corps simple, qui prend alors le nom de radical, on le nomme oxacide pour le distinguer d'un autre groupe d'acides formés d'hydrogène et d'un autre corps simple, auxquels on donne le nom d'hydracides.

Pour former le nom d'un oxide, on énonce d'abord le nom collectif acide que l'on fait suivre du nom du corps simple, auquel on donne la terminaison *ique* ou *eux*. La première terminaison s'emploie pour les acides les plus oxigénés, et la dernière pour les moins oxigénés. Ainsi le mot acide sulfur*ique* indique par sa terminaison qu'il n'y a pas de degré d'oxidation plus élevé, et celui d'acide sulfur*eux* que c'est un degré inférieur d'oxidation. Cette méthode s'applique bien dans le cas où il n'y a que deux degrés d'oxidation qui soient acides; par exemple : le sélénium se combine en trois proportions avec l'oxigène, mais deux seulement sont acides : le premier est appelé acide sélénique, et le second sélénieux.

Souvent le même corps donne naissance à trois et quatre acides; mais alors, au moyen de la préposition *hypo*, on désigne des degrés inférieurs d'oxidation. Ainsi l'on dit : acide *hypo-sulfurique* pour indiquer la combinaison moins oxigénée que l'acide sulfurique, et acide *hypo-sulfureux* pour celle qui contient moins d'oxigène que l'acide sulfureux.

Quand au contraire le radical ne produit qu'un seul acide, celui-ci est en ique; exemple : acide *borique*.

OXIDES.—Lorsque les corps en se combinant avec l'oxigène ne forment pas d'acides, on donne à ces composés le nom général *d'oxides*. Lorsque le radical ne forme qu'un seul oxide, on fait suivre ce mot du nom du corps qui est uni à l'oxigène. Exemple : *oxide d'argent*. Le radical se combine-t-il en plusieurs proportions avec l'oxide, on se sert des mots *proto*, *deuto*, *trito*, pour indiquer des composés de plus en plus oxigénés. Exemple : *Protoxide de plomb*, *deutoxide de plomb*, etc.; ordinairement on nomme *peroxide*, l'oxide le plus oxigéné.

Un acide peut résulter de la combinaison de deux corps autres que l'oxigène : alors on combine les noms des deux substances en terminant celui de la dernière en *ique*, et on l'ajoute au mot *acide*. Exemple : *acide chlorhydrique*, *iodhydrique*, *fluo-borique*, etc.

Quand deux corps en se combinant ne produisent ni oxides, ni acides, les noms des deux corps entrent dans la composition du nom du composé; mais le premier nom énoncé est terminé en *ure*, exemple: *Sulfure d'arsenic*. Si les corps donnent lieu à plusieurs degrés de combinaisons, on fait précéder le premier nom des mots *proto*, *deuto* ou *bi*, etc. Exemple : *proto-chlorure de mercure*, *deuto* ou *bi-chlorure de mercure*, etc.

Si la combinaison se fait entre deux métaux ou plus, on leur donne le nom général d'alliages, que l'on fait suivre des noms des métaux, et l'on donne celui d'amalgame aux alliages dont le mercure fait partie, en ayant soin de ne désigner que les métaux autres que le mercure. Exemple : *amalgame de potassium*.

SELS.—Un acide et un oxide en se combinant donnent naissance à un corps plus composé, auquel on donne le nom général de *sel*. Cette dénomination ne reste pas seulement à la combinaison d'un oxide avec un acide; mais elle s'applique encore aux combinaisons d'un acide avec l'ammoniaque, ou avec des alcalis végétaux. Tous ces corps, en raison de leur propriété, celle de s'unir aux acides pour former des sels, portent le nom de *bases salifiables*.

La nomenclature des sels est très simple, elle se fait en énonçant d'abord l'acide dont la terminaison est changée en *ate* pour tous les acides à terminaison en *ique*, et en *ite* pour tous ceux à terminaison en *eux*, et le faisant suivre du nom du métal ou de l'oxide. Exemple : *sulfate de fer*, *sulfite de chaux*. L'oxide peut être au premier, au deuxième degré d'oxidation; alors on met devant le nom du métal les mots *protoxide*, *deutoxide*, etc.

Exemple : *sulfate de protoxide de fer*, *carbonate de deutoxide de cuivre*. On dit souvent plus simplement proto-sulfate, deuto-carbonate, pour exprimer les mêmes combinaisons; mais nous ferons remarquer que les mots deuto et proto ne se rapportant qu'aux mots devant lesquels ils sont placés, ils donnent une fausse idée de la composition du sel, puisque pris à la lettre un deuto-carbonate doit contenir deux fois autant d'acide carbonique qu'un proto-carbonate, etc.

Quand la combinaison est faite dans les proportions où les propriétés antagonistes des deux corps disparaissent le plus, on dit que le sel est *neutre;* s'il y a excès d'acide, on le dit *sur-sel;* si, au contraire, c'est la base qui prédomine, on le dit *basique:* exemple, phosphate *neutre*, *bi* ou sur-phosphate, et phosphate *basique* de chaux.

On a, tour à tour, cherché à classer les corps simples, dans le but de rendre leur étude plus facile. La classification la plus usitée est celle de M. Thénard, qui, reconnaissant le rôle que jouait l'oxigène dans presque toutes les combinaisons chimiques, a disposé les corps d'après le degré d'affinité qu'ils ont pour l'oxigène. C'est cette classification que nous nous proposons de suivre. En partant d'autres considérations, M. Berzélius les a classés, d'après leurs propriétés électriques, sous l'influence de la pile voltaïque. C'est l'ordre d'après lequel nous avons dû les énoncer au commencement de cet article. Enfin, d'autres chimistes ont proposé d'autres classifications, d'après lesquelles on les étudie rarement.

3° NOTIONS SUR LA CHALEUR ET L'ÉLECTRICITÉ.

(*Celles qui sont nécessaires à l'intelligence des phénomènes chimiques*).

La chaleur et l'électricité ayant part à tous les phénomènes chimiques, il est important de rappeler ici leurs principales propriétés, celles qui sont nécessaires à l'intelligence des faits qui seront développés dans la partie chimique de cet ouvrage, renvoyant pour de plus amples renseignements à la partie physique qui traite de ces deux fluides.

CHALEUR ET CALORIQUE.—Tout le monde sait que si l'on s'approche d'un foyer allumé, on éprouve une sensation appelée chaleur; l'agent qui la produit a été nommé calorique.

Il faut éviter de confondre les deux mots, car le premier est employé pour désigner l'effet de ce phénomène, et le second l'est pour désigner la cause.

Le calorique est un fluide impondérable, invisible, très subtil, très élastique, et qui se meut sous forme de rayons. Il pénètre tous les corps et tend sans cesse à se mettre en équilibre avec eux.

Quand il les pénètre, il les dilate tous, et d'autant plus que le calorique y est accumulé en plus grande quantité.

Le même degré de chaleur fait toujours prendre à un corps le même volume, quand les circonstances sont toujours les mêmes. On voit qu'il y a une relation intime entre les degrés de la chaleur et les volumes, il est donc évident qu'on peut prendre les degrés de dilatation pour mesurer les degrés de chaleur.

Quand le calorique agit sur nous avec énergie, on ne donne plus le nom de chaleur à l'effet, mais bien celui de température. Cette température peut être facilement mesurée à l'aide d'instruments qu'il n'entre pas dans notre but de décrire, et qui portent le nom de *thermomètre,* quand la température n'est pas très élevée: par exemple, celle que peuvent supporter les liquides; et de *pyromètre*, quand, au contraire, la température est très élevée. (Voir la partie physique pour leur description.)

Le calorique existe dans tous les corps, mais il y est en quelque sorte dans un état de combinaison, de manière que les instruments ne peuvent pas l'y accuser; ce calorique est appelé *latent.* On sait, en effet, qu'un kilogramme de glace à 0° mêlée avec un poids égal d'eau à 75° ramène cette dernière après sa liquéfaction à 0°; il a donc fallu à la glace 75° pour se fondre et cependant rester toujours à 0°. C'est le calorique employé pour faire passer la glace de l'état solide à l'état liquide, que l'on appelle calorique latent. Pareillement de l'eau bouillante émet une certaine quantité de vapeurs, dont la température est comme celle de l'eau bouillante à 100°. Or, dans ce cas, une certaine quantité de calorique devient latente pour transformer l'eau en vapeurs. Tous les corps qui peuvent passer de l'état solide à l'état liquide et de celui-ci à l'état de vapeurs offrent le même phénomène. Tous les corps présentent encore, à l'égard de la chaleur, une autre particularité; c'est de ne point avoir pour elle la même capacité, en sorte qu'une même quantité de chaleur agit très inégalement sur leur température. Ces quantités de chaleur ont été nommées *calorique* ou *chaleur spécifique.*

Par exemple, pour élever de 10° à 20° un kilogramme de mercure, il faut moins de calorique que pour porter le même poids d'eau de 10° à 20°. Dans ce cas le *calorique spécifique* du mercure est moindre que celui de l'eau, dont la chaleur spécifique est ordinairement prise pour unité lorsqu'il s'agit de corps solides ou liquides, pendant que le calorique spécifique des gaz est rapporté à celui de l'air également pris pour l'unité.

On peut voir déjà, par ce que nous avons dit, que les liquides renferment plus de calorique latent que les solides, et les gaz plus que les liquides. Aussi un corps ne peut-il passer de l'un à l'autre état, si on lui refuse de la chaleur.

Conductibilité. — Nous avons vu que tous les corps étaient pénétrés par le calorique, et qu'ils avaient la propriété de le propager; mais tous les corps ne se laissent pas également pénétrer. Cette propriété est appelée *conductibilité du calorique.*

De tous les corps, ceux qui possèdent cette propriété au plus haut degré sont les métaux, pendant que les liquides et les gaz le conduisent mal. Que l'on prenne deux tiges de longueur et de grosseur égales, l'une de verre, l'autre de fer ou d'autre métal, que l'on place sur le bout de chacune d'elles un morceau de suif, et qu'on chauffe ensuite également leurs deux autres extrémités, on ne tardera pas à voir fondre le suif de la tige de métal pendant que ce ne sera que bien après que le suif de celle de verre se fondra.

Le calorique se produit dans une foule de circonstances; mais on peut remarquer que toujours il prend naissance dans les combinaisons, et cette propriété peut provenir de plusieurs causes: 1° on peut supposer que deux corps en se combinant donnent naissance à un composé, dont la capacité pour le calorique est moindre que l'un des autres corps employés, d'où il doit résulter une contraction dans les éléments; 2° on pense, avec raison, que dans les combinaisons il y a toujours deux électricités qui se développent, lesquelles, en se combinant pour former le composé, donnent lieu à du fluide neutre et à une étincelle, ou bien à de la chaleur, etc. Dans tous les cas, on voit que la combinaison marche plus vite quand le phénomène est le plus apparent, d'où l'on peut conclure que le calorique doit hâter une combinaison quand on vient à élever la température des corps mis en présence: voilà pourquoi du soufre et du plomb ne se combineraient que très lentement à la température ordinaire, pendant

que la combinaison peut avoir lieu de suite, si l'on élève leur température.

ÉLECTRICITÉ. — Lorsqu'on frotte sur une étoffe de laine ou une peau de chat, un morceau d'ambre, de cire à cacheter, ou un tube de verre, puis qu'on l'approche d'un corps léger, tel qu'une barbe de plume, un fragment de papier, etc., on voit que le corps léger est attiré par le corps frotté, et y adhère plus ou moins long-temps. Cette propriété, appelée *électricité*, est due au développement d'un fluide impondérable, connu sous le nom de *fluide électrique;* ces mots viennent du nom grec du succin dans lequel on a constaté le premier cette propriété.

L'électricité peut être mesurée à l'aide d'instruments qu'on appelle électroscopes, électromètres, pendule électrique, etc.; instruments pour la description desquels nous renvoyons à la partie physique.

Tous les corps contiennent une sorte d'électricité qu'on appelle *neutre* ou *fluide naturel.* Lorsque l'on vient à frotter un corps ou à mettre en contact deux corps différents, leur électricité neutre est décomposée en deux autres électricités, l'une qu'on a appelée *électricité positive* ou *vitrée*, l'autre *électricité négative* ou *résineuse.* Mais tous ne manifestent pas également des signes d'électrité; par exemple, une tige de métal qu'on frotte n'en décèle aucun aux électromètres. Cela tient à ce que les métaux sont bons conducteurs du fluide électrique, et pendant que l'un des fluides se dégage sur le corps frottant, l'autre est de suite transmis par la main au sol qu'on nomme le *réservoir commun.* Si le métal ou le corps est placé sur une substance qui conduit mal l'électricité, le verre, par exemple, le corps est *isolé* et l'électricité peut devenir sensible.

Quand, au contraire, on frotte un morceau de cire à cacheter ou tout autre corps mauvais conducteur, l'un des fluides développés se décharge sur le corps frottant, pendant que l'autre est accumulé à la surface du corps frotté jusqu'à ce qu'un corps bon conducteur vienne l'en priver : aussi les instruments accusent-ils sur ces corps les plus petites quantités d'électricité.

Tous les corps n'émettent pas le même fluide électrique. En frottant, par exemple, un bâton de cire à cacheter, et l'approchant d'un pendule électrique, la balle de sureau se porte sur le bâton, dont elle prend une partie de l'électricité, et en est rapidement repoussée; si l'on présente à cette balle, ainsi élec-

trisée, un tube de verre frotté, la balle est attirée de nouveau, puis repoussée.

En refaisant le même expérience, mais en commençant par le tube de verre, la même série de phénomènes se produit. On voit donc que l'électricité provenant de la cire repousse la balle qui en est chargée; il en est de même de l'électricité provenant du verre lorsque la balle la possède. Au contraire, l'électricité développée par le frottement du verre attire celle de la cire à cacheter, *et vice versâ*. C'est en raison de ces phénomènes qu'on a distingué ces deux électricités en positive ou vitrée, et en négative ou résineuse. Ces deux électricités en se combinant reconstituent le fluide neutre, et quand les quantités d'électricités sont assez fortes, la combinaison s'opère avec dégagement d'une étincelle qu'on nomme *étincelle électrique*.

En faisant attention à ce qui précède, on arrive à la conclusion suivante : *toutes les fois que deux corps contiennent la même électricité ils se repoussent*, *pendant qu'ils s'attirent lorsqu'ils contiennent des électricités contraires*.

Électricité développée par le contact.

De tous les moyens employés pour développer l'électricité, il en est un qui, en raison de son application en chimie, mérite de nous occuper un instant; c'est celui qui consiste à mettre en contact deux substances de nature différente; mais on se sert de préférence des métaux, parce que ce sont eux qui développent le plus d'électricité.

Si l'on met en contact deux disques isolés par des manches de verre, l'un de zinc et l'autre de cuivre, le premier se charge d'électricité positive, et le second d'électricité négative. La force inconnue en vertu de laquelle ce phénomène est produit est nommée *force électro-motrice*. On a objecté que la pression exercée par les disques développe l'électricité. Il a été facile de détruire cette objection en soudant bout à bout les deux métaux réduits en lames. C'est d'après ces propriétés, et pour profiter de l'électricité développée par le contact, que l'on a construit différentes piles, de formes très variables. (Voyez *Description et théorie de la pile de Volta*.) Pour faire fonctionner cette pile, on place un fil métallique à chacune de ses extrémités que l'on peut appeler *pôles;* et afin que les électricités de chaque paire de plaques arrivent à leur pôle respectif, on remplit l'auge

d'eau acide qui joue le rôle de conducteur. On remarque que la pile agit avec d'autant plus d'intensité que les acides sont plus forts.

La pile de Volta est employée en chimie pour obtenir instantanément des décompositions qu'on n'obtiendrait que plus lentement et plus difficilement : c'est avec une forte pile que Davy a fait la découverte du potassium, du sodium, etc., dans la potasse, la soude, etc. En effet, s'agit-il de décomposer un corps par la pile, l'eau, par exemple, de manière à séparer ses éléments, il suffit de faire plonger le fil de chaque pôle dans un vase plein d'eau, et de placer sur l'extrémité de chaque fil une petite cloche pleine elle-même d'eau pure. Peu après on aperçoit, à l'extrémité de chaque fil, se dégager des bulles qui déplacent peu à peu l'eau des cloches ; ces bulles sont de l'oxigène et de l'hydrogène purs.

Pour se rendre compte de la force qui cause cette décomposition, rien n'est plus facile. Rappelons-nous d'abord que deux corps électrisés différemment s'attirent, et que la pile offre deux extrémités ou pôles : le *pôle positif*, où vient se réunir toute l'électricité positive, et le *pôle négatif*, où vient se rendre toute l'électricité négative. Ensuite, que tous les corps sont électro-positifs ou électro-négatifs les uns par rapport aux autres. Si donc les deux électricités d'une pile se dégagent au milieu de l'eau, elles réagiront simultanément sur les éléments de celle-ci de telle manière qu'en se désunissant l'oxigène se dirige vers le pôle positif, car il est électro-négatif, et l'hydrogène vers le pôle négatif puisqu'il est électro-positif.

4° LOIS SUIVANT LESQUELLES LES CORPS SE COMBINENT.

1° *Théorie des nombres proportionnels ou des proportions multiples.*

Les corps généralement ne se combinent qu'en un petit nombre de proportions ; mais les quantités qui se combinent sont toujours en rapports simples, comme on peut le voir dans les combinaisons des gaz entre eux. Par exemple, en volumes :

	s'unissent avec	pour former
100 d'oxigène	200 d'hydrogène =	de l'eau,
100 d'azote	300 d'hydrogène =	de l'ammoniaque;

et jamais

	ne se combinent
100 d'oxigène	avec 160, 165, 176, etc., d'hydrogène, ou
100 d'azote	avec 142, 256, 278, etc., d'hydrogène, etc.

Les combinaisons de l'azote et de l'oxigène peuvent très bien faire comprendre cette loi. Ces combinaisons sont au nombre de cinq. Toutes contiennent 100 d'azote; mais le principe qui y entre pour plusieurs proportions y entre de telle manière que les quantités les plus fortes sont des multiples de la plus faible. En effet, la première contient 100 d'azote et 50 d'oxigène; la deuxième, pour la même quantité d'azote, contient 100 d'oxigène; la troisième, 150; la quatrième, 200; la cinquième, 250 : d'où l'on peut voir que les rapports sont entre eux comme les nombres 1, 2, 3, 4, 5, etc., que chaque nombre est un multiple par un nombre entier du plus faible. Si la loi était fausse, l'analyse aurait démontré, dans d'autres composés, des combinaisons dans lesquelles ce ne seraient plus 100 d'un corps et 50 d'un autre, qui seraient entrés en combinaison; mais bien 100 de l'un, et 44, ou 45, ou 48, etc., de l'autre; or, c'est ce qui n'est pas.

Il arrive cependant que le rapport trouvé est de 1 à 1 1/2, ou de 2 à 3; mais ces cas rares permettent de penser que l'on ne connaît pas tous les composés que peuvent former les corps que l'on considère.

A l'appui de ce que nous venons d'avancer, on peut citer une foule de résultats, mais quelques uns seulement suffiront.

Le protoxide d'étain est formé de	100 de radical	+ 13,6 d'oxig.
bioxide	100	+ 27,2 —
protoxide de cuivre	100	+ 12,63
bi-oxide	100	+ 27,27
quadroxide	100	+ 50,55, etc.

La loi précédente s'applique non seulement aux combinaisons des atomes élémentaires, mais encore aux combinaisons des atomes composés, comme on le voit dans cet exemple :

	Base.		Acide.
Sulfate de protoxide de potassium =	117,98	+	100.
Bi-sulfate de protoxide de potassium =	117,98	+	200.

Il faut néanmoins noter ici quelques exceptions. Par exemple : l'eau s'unit en toute proportion avec les corps solubles ; mais y a-t-il ici combinaison ? De même les métaux semblent produire entre eux une multitude de combinaisons binaires ; et bien qu'il ne soit pas facile d'en expliquer la raison, les lois que nous venons d'exposer n'en sont pas moins admises par tous les chimistes.

2° *Nombres proportionnels.*

Si l'on vient à comparer plusieurs séries de combinaisons ayant toutes le même radical et une composition correspondante, on arrive à ce résultat très remarquable : que pour la même quantité en poids de radical, les quantités pondérables de l'autre corps sont extrêmement variables. Ces quantités, comparées toutes à un nombre connu, celui de l'oxigène, portent le nom d'*équivalents* ou proportions chimiques. Par exemple :

1294,50 de plomb se combinent à 100 d'oxigène pour former du protoxide de plomb.

1294 50 de plomb se combinent à 442,65 de chlore pour former du chlorure de plomb ; combinaison correspondante au protoxide de plomb.

Or, si l'on considère 100 d'oxigène en poids comme un *équivalent*, il est évident que 442,65 de chlore en poids seront aussi un équivalent, puisque cette quantité *équivaut* à 100 d'oxigène.

Pareillement 201,165 de soufre en poids pouvant remplacer dans une combinaison les 100 d'oxigène, devront être considérés comme le poids qui représente l'équivalent du soufre.

En général, on forme les nombres proportionnels en prenant un poids de corps simple, tel qu'il exige 100 parties d'oxigène, pour passer au premier degré d'oxidation. Ainsi, plus haut, nous avons vu que 1294,50 de plomb exigeaient 100 d'oxigène pour former le protoxide. D'après ce que nous venons de dire, il est clair que l'équivalent du plomb doit être 1294,50.

Le nombre proportionnel des corps simples une fois déterminé, il n'est pas plus difficile de former celui des corps composés. S'agit-il de former celui de l'acide sulfurique? On sait que cet acide est composé de 1 proportion de soufre = 201,165, et de 3 proportions d'oxigène = 300. Une simple addition nous conduit au chiffre 501,165, nombre qui représente l'équivalent de l'acide sulfurique.

Egalement 489,92 de potassium et 100 d'oxigène donneront 589,92, qui est le nombre proportionnel de la potasse.

Maintenant si l'on additionne encore 501,165 = acide sulfur.
avec 589,92 = potasse,

on aura . . . . 1091,085, nombre proportionnel du sulfate de potasse.

On voit de suite combien il est facile d'établir la composition de tous les corps composés.

CHAPITRE II.

DES CORPS SIMPLES NON MÉTALLIQUES OU MÉTALLOIDES.

Les métalloïdes sont au nombre de treize, savoir : l'oxigène, l'hydrogène, le bore, le silicium, le carbone, le phosphore, le soufre, le sélénium, l'iode, le brome, le chlore, le fluor et l'azote. Nous étudierons ces corps dans le même ordre qu'ils se trouvent classés, parce qu'ils sont placés d'après leur degré d'affinité pour l'oxigène. Ils ont tous pour caractères principaux d'être électro-négatifs par rapport aux métaux ; de conduire moins facilement le calorique et l'électricité, et surtout de former plus particulièrement des acides, pendant que les métaux forment le plus souvent des bases.

5° OXIGÈNE, DÉFINITION ET CAUSE DE LA COMBUSTION ; FLAMME.

OXIGÈNE. (*Air déphlogistiqué*, *air vital*, *air du feu*). — Découvert par Priestley; est très répandu dans la nature. On le trouve sous les trois états solide, liquide et gazeux. Comme on ne peut l'obtenir qu'à l'état de gaz, il convient de l'étudier sous cette forme.

Ce gaz est incolore, insipide, inodore et permanent. Sa pesanteur spécifique est de 1,1026, celle de l'air étant prise pour l'unité, son poids atomique, auquel on compare celui des autres corps, est 100. Soumis à une forte pression, il laisse dégager du calorique et de la lumière; effet qui, selon M. Thénard, est dû à la combustion partielle de l'huile dont le piston est enduit. C'est de tous les gaz celui qui réfracte le moins la lumière, puisque sa puissance réfractive n'est que de 0,861616, comparée à celle de l'air. Il est de tous les corps le plus électro-négatif.

Car. ess. L'oxigène se combine avec tous les corps simples, tantôt avec dégagement de calorique, tantôt avec dégagement de calorique et de lumière; souvent même il s'y combine en plusieurs proportions. Très souvent cette combinaison se fait directement. Soit du charbon, du phosphore, du soufre, du fer, etc., présentant un point en ignition, si on les plonge dans ce gaz, l'absorption a lieu promptement avec dégagement de calorique et de lumière.

L'eau ne le dissout qu'en très petite quantité.

Usages. Pour se faire une idée de ses usages, il suffit de dire qu'il fait partie de l'air atmosphérique; qu'il est le seul gaz qui puisse entretenir la vie; qu'il fait partie de tous les oxides et de beaucoup d'acides; qu'enfin c'est lui qui joue le rôle le plus important dans ce phénomène qu'on nomme combustion.

Préparation. Plusieurs procédés peuvent être suivis pour extraire l'oxigène. Le plus économique consiste à chauffer jusqu'au rouge du bi-oxide de manganèse dans une cornue de grès; bientôt l'oxigène se dégage et est conduit par un tube recourbé sous des cloches pleines d'eau. Ce qui reste dans la cornue n'est plus que du protoxide mêlé d'un peu de bi-oxide. Ce procédé ne le donne pas très pur. Pour l'avoir tel, on chauffe dans le même appareil du chlorate de potasse et l'on opère de la même manière. Le résidu est formé, dans ce cas, de chlorure de potassium; ce que l'on concevra si on fait attention que le chlorate de potasse peut être représenté par du chlorure de potassium + de l'oxigène.

On pourrait le retirer aussi de beaucoup d'autres oxides.

COMBUSTION ET FLAMME. — La combustion est aujourd'hui définie : *un phénomène général qui a lieu quand les corps se combinent avec dégagement de calorique et de lumière.* On pensait autrefois qu'il n'y avait de combustion que lorsqu'il y avait fixation d'oxigène, mais le phénomène de dégagement de ca-

lorique et de lumière qui a lieu quand on projette de l'arsenic ou de l'antimoine en poudre, dans du chlore, dut faire changer de manière de voir. Cependant on nomme encore combustion le phénomène en vertu duquel un corps simple se combine lentement à l'oxigène, bien qu'alors il n'y ait point dégagement de lumière, mais il est évident que c'est le même phénomène, seulement la combinaison est lente, et la chaleur développée n'est jamais en assez grande quantité pour devenir lumineuse.

Lorsque ce dégagement de calorique et de lumière se développe dans une substance gazeuse, alors il se produit ce que l'on appelle *flamme*; la flamme n'est donc qu'une matière gazeuse, chauffée au point d'être lumineuse.

La température de la flamme surpasse toujours la chaleur blanche des corps solides. La flamme n'offre pas toujours le même éclat; en général, les corps qui sont susceptibles de former pendant la combustion des corps gazeux, donnent une lumière plus faible; tel est le cas de l'hydrogène, du soufre, etc. Au contraire, les corps qui donnent naissance à des composés fixes, produisent une lumière plus éclatante; voilà pourquoi le phosphore en produit une si vive; c'est encore pour cette raison que si l'on place dans la flamme de l'hydrogène, qui est pâle, une certaine quantité d'amiante, la lumière devient beaucoup plus intense.

6° HYDROGÈNE, CARBONE ET PHOSPHORE.

HYDROGÈNE. (*Air inflammable.*) — Il est également très répandu dans la nature; uni à l'oxigène, il constitue l'eau; uni au carbone et l'oxigène, il constitue les matières végétales; enfin uni à l'azote, au carbone et à l'oxigène, il constitue les matières animales; à l'état de pureté, il est toujours gazeux.

L'hydrogène est incolore, inodore et insipide; sa pesanteur spécifique, très faible = 0, 0688, ce qui permet de le transvaser facilement; sa puissance réfractive très considérable = 6, 61436, ce qui est en rapport avec sa grande affinité pour l'oxigène, et, par conséquent, avec sa grande combustibilité. Il éteint tous les corps en combustion, il est impropre à la respiration, quoique n'étant pas délétère. De tous les métalloïdes il est le plus électro-positif.

Il résulte de ces propriétés qu'il doit s'unir facilement avec

l'oxigène; en effet à chaud, ou au moyen d'une étincelle électrique, ces deux gaz, placés dans un eudiomètre, se combinent pour donner naissance à de l'eau. Cette combinaison se fait entre deux volumes d'hydrogène et un d'oxigène, ou en poids 11,10 du premier, et 88,90 du second. La combinaison, par l'étincelle électrique, s'opère avec dégagement de calorique et de lumière, en même temps qu'une détonation plus ou moins vive a lieu.

Il est facile de se rendre compte de cette détonation: en effet, quand l'eudiomètre est presque en entier plein d'eau, et le reste rempli des deux gaz, par l'étincelle les gaz se combinent pour former l'eau, qui, étant à l'état de vapeur, en raison de la chaleur produite par la combustion, occupe plus d'espace que les gaz, et presse l'eau de haut en bas; mais bientôt cette vapeur, en contact avec l'eau froide, se condense et laisse un espace subitement rempli par l'eau, qui d'abord avait été refoulée; de ces deux effets instantanés, résulte un double choc qui produit la détonation.

La combinaison pourra encore avoir lieu par une pression forte et subite, puisque, par ce moyen, il y aura production d'une forte chaleur.

Cependant, à froid, il est certains corps sous l'influence desquels la combinaison peut avoir lieu; tels sont le palladium, le rhodium, l'iridium, et surtout le platine. En effet, si l'on dirige un courant d'hydrogène sur un morceau d'éponge de platine, le métal s'échauffera jusqu'au rouge, le gaz finira par s'enflammer et le produit formé sera de l'eau.

L'hydrogène est peut-être le corps qui, en brûlant, produit la plus forte chaleur, aussi se sert-on souvent de sa combustion pour fondre des substances regardées comme infusibles.

Quoique l'hydrogène soit très combustible, l'on ne saurait l'enflammer avec une bougie allumée à travers une toile métallique très fine, même lorsqu'il est mêlé à de l'oxigène, cela tient à ce que le fil métallique refroidit la flamme à tel point que celle-ci ne pourra passer à travers la toile et atteindre l'hydrogène; c'est sur cette propriété que Davy a fondé sa lampe de sûreté, si utile aux mineurs.

Caractères essentiels. Il est facile à reconnaître, 1° à sa légèreté; 2° à ce qu'une bougie l'enflamme en produisant une légère détonation et un peu d'eau; 3° à ce qu'une bougie, plongée dans l'intérieur d'une cloche pleine de gaz, s'éteint après avoir mis le feu aux premières couches.

Usages. — On ne s'en sert guère que pour faire l'analyse de l'air, obtenir une haute température et remplir des ballons aérostatiques.

Préparation. — On prend de la tournure de zinc ou de fer, sur laquelle on verse de l'acide sulfurique étendu d'eau ; l'eau est décomposée, son oxigène se combine au métal, lequel, oxidé, s'unit à l'acide et forme du sulfate de fer ou de zinc, pendant que l'hydrogène de l'eau, mis en liberté, se dégage.

On peut encore l'obtenir en décomposant l'eau par la pile, comme nous l'avons dit page 349.

BORE — Découvert par MM. Gay-Lussac et Thénard. Il ne se trouve jamais à l'état de pureté dans la nature ; il fait partie de trois combinaisons naturelles : ce sont l'acide borique, le borate de soude et le borate de magnésie.

Le bore est solide, pulvérulent, insipide, inodore, d'un brun verdâtre, d'une pesanteur spécifique plus grande que celle de l'eau.

Soumis à l'action d'une forte chaleur, il n'éprouve aucune altération, si ce n'est qu'il se racornit un peu, d'où il suit qu'il est infusible.

L'oxigène à froid n'a aucune action sur le bore, mais à chaud la combinaison s'opère promptement ; il en résulte de l'acide borique qui, en se fondant, recouvre toujours un peu de bore que l'on a pris, pendant quelque temps, pour de *l'oxide de bore.*

Le bore possède la singulière propriété de se diviser dans l'eau pure au point de filtrer avec elle, mais pour peu que l'eau contienne de sels, ce phénomène n'a plus lieu. Il en est de même si l'on chauffe fortement le bore.

Ce corps est sans usages.

Préparation. — On l'obtient en décomposant l'acide borique avec du potassium ou du sodium. On réduit en fragments le métal et l'acide borique ; on les place, couche par couche, dans un tube de cuivre, que l'on chauffe ensuite avec la lampe à alcool ; Bientôt le métal s'empare de l'oxigène de l'acide borique, forme de l'oxide qui se combine à une certaine quantité d'acide borique pour former du borate, pendant que le bore de l'acide décomposé devient libre ; l'eau bouillante dissout le borate et le filtre retient le bore.

CARBONE. — Il est très répandu dans la nature à l'état de combinaison ; toutes les matières animales ou végétales en contiennent de grandes quantités ; il fait partie de l'acide carboni-

que et de tous les carbonates. A l'état de pureté on ne l'a trouvé que dans le diamant.

Le diamant se trouve aux Indes-Orientales et au Brésil; il se présente sous la forme de cristaux très brillants, limpides et transparents; mais le plus souvent il se trouve recouverts d'une croûte plus ou moins épaisse.

Il accompagne une sorte de terrain arénacé et ferrugineux que les naturels nomment cascalho.

Ce corps est le plus dur de tous les corps connus, il les raie tous et ne peut être attaqué que par sa propre poussière. Sa poussière est noirâtre, même quand elle provient de diamants incolores. Sa puissance réfractive = 3,1961. Chauffé dans des vaisseaux clos, il ne s'altère aucunement; mais si on le chauffe en présence de l'air, il ne tarde pas, si la température est élevée, à s'emparer de l'oxigène de l'air, et à passer à l'état d'acide carbonique.

Il est employé comme objet de luxe; on s'en sert encore pour rayer les autres corps, et surtout pour couper le verre.

Charbons. — Ce que l'on nomme charbon est toujours un mélange de beaucoup de carbone, d'un peu d'hydrogène, et de plus ou moins de sels qui constituent la cendre. Dans les charbons qui proviennent des matières animales, on trouve une assez forte proportion d'azote. La quantité de carbone que contient le charbon varie selon l'espèce de charbon. Par exemple, le charbon de sapin contient 98,56 de carbone, celui de buis ordinaire non calciné, 97,85; celui qui provient des matières animales non terreuses n'en contient que 71,7. Le reste est de l'azote. On peut donc reconnaître le charbon végétal ou hydrogéné, et le charbon animal ou azoté.

Le charbon végétal est solide, noir, fragile, très poreux, inodore, insipide et plus pesant que l'eau. S'il contient peu de matières étrangères il conduit bien le calorique; dans le cas contraire, il le conduit très peu. Il ne conduit bien le fluide électrique que lorsqu'il a été fortement calciné; la braise de boulanger est dans ce cas, aussi peut-on s'en servir avec avantage pour entourer les pieds des paratonnerres.

Soumis à une forte chaleur, en vase clos, le charbon perd l'eau qu'il a absorbé, et donne, de plus, une certaine quantité de gaz, composé d'oxide de carbone, d'hydrogène, et peut-être d'hydrogène carboné.

L'oxigène s'y combine très facilement. La combinaison se fait

directement, et donne lieu tantôt à de l'acide carbonique, tantôt à de l'oxide de carbone. Prenez un flacon plein d'oxigène, plongez y un morceau de charbon offrant un point en ignition; aussitôt ce dernier brûlera avec éclat en fixant l'oxigène et produisant de l'acide carbonique.

Le charbon possède, comme tous les corps poreux, la singulière propriété d'absorber les gaz, et cette absorption est influencée par des circonstances de différentes natures.

1° Plus la température est basse, plus est grande l'absorption;

2° L'absorption est d'autant plus grande que la pression est plus forte;

3° L'absorption dépend de la nature des gaz. Ceux qui sont le plus absorbés, sont le gaz ammoniac, l'acide chlorhydrique; ceux qui le sont le moins, sont l'hydrogène et l'azote;

4° Certains charbons absorbent moins que certains autres à cause du diamètre de leurs pores; par exemple, celui de liége absorbe très peu d'air, celui de sapin absorbe quatre fois et demie son volume; celui de buis sept fois et demie, et la houille de Rastiberg dix fois et demie. Ce qui revient à dire qu'il absorbe d'autant plus qu'il est plus dense. Cependant ceux qui sont très denses n'en absorbent pas, par exemple, le charbon d'huile;

5° Le nombre des pores influe aussi sur l'absorption; du charbon de bois entier a absorbé sept fois un quart son volume d'air atmosphérique, pendant que le même charbon pulvérisé n'en a absorbé que quatre fois un quart. Dans ce dernier cas le nombre des pores est diminué;

6° Enfin, plus le vide des pores est exact, plus l'absorption est grande. M. de Saussure, à qui l'on doit la connaissance de ces détails, s'est assuré que, de tous les corps poreux, celui qui possède cette propriété au plus haut degré, est le charbon de buis. Ainsi, une mesure de charbon de buis absorbe:

90 mesures de gaz ammoniac.
85 . . . . acide chlorhydrique.
65 . . . . acide sulfureux.
55 . . . . sulfhydrique.
40 . . . . protoxide d'azote.
35 . . . . acide carbonique.
35 . . . . hydrogène carboné.

9,42 . . . . . . oxide de carbone.
9,25 . . . . . . oxigène.
7,5 . . . . azote.
1,75 . . . . . . hydrogène.

Caractères essentiels.—Le carbone brûlé avec l'oxigène donne de l'acide carbonique qui trouble l'eau de chaux.

Préparation. — Dans les arts on le prépare (le charbon) en plaçant du bois dans de grandes cornues en fonte, et chauffant au rouge. Le bois peu à peu se décompose, il en résulte de l'eau, de l'acide acétique, de l'acide carbonique, de l'oxide de carbone, de l'hydrogène carboné, du goudron et du charbon qui reste dans la cornue pendant que les autres corps se dégagent et sont reçus dans un récipient particulier. Cette maniere de préparer le charbon est économique, car, d'une part, la décomposition se faisant sans le contact de l'air, on obtient plus de charbon, et, de l'autre, parce qu'on peut tirer parti de l'acide acétique qui se produit.

Le carbone pur est très difficile à obtenir. On a proposé de chauffer fortement le noir de fumée; mais M. Braconnot a montré qu'il contenait beaucoup d'autres matières. Le meilleur moyen consiste à décomposer par le feu, en vase clos, une matière organique pure, telle que la fécule ou mieux le sucre cristallisé, le carbone est alors presque pur.

Le charbon animal diffère peu du charbon végétal; cependant, ce qui l'en distingue c'est sa composition et la manière dont il se comporte avec les matières colorantes. En effet, d'après MM. Bussy et Payen, le charbon animal possède une propriété décolorante au moins trois fois plus forte que le charbon végétal. Ils ont vu de plus que les charbons animaux différaient d'intensité selon qu'ils étaient mats ou brillants; que, dans le premier cas, le pouvoir décolorant était bien plus grand que dans le second. Enfin, ils ont cherché de quelle manière le charbon agissait sur les matières colorantes. Si l'on fait une dissolution dans l'eau de sulfate d'indigo, puis qu'on y ajoute du noir animal en agitant convenablement; par la filtration, la liqueur, de bleue qu'elle était, passe incolore. Si l'on traite ensuite le charbon qui a servi à décolorer la liqueur par une dissolution de soude ou de potasse, puis, qu'on filtre, la liqueur passe colorée en bleu. Il résulte de cette expérience qu'il faut attribuer le phénomène à une action chimi-

que, faible à la vérité, pendant laquelle le charbon joue le rôle d'une base, et l'indigo celui d'acide. En effet, dans la première partie de l'expérience, l'indigo se combine au charbon; mais, dans la seconde la soude ou la potasse, qui sont une base énergique, s'emparent de l'indigo pendant que le charbon devient libre.

Le charbon est très employé, il entre dans la composition de la poudre à canon, de l'encre d'imprimerie; on s'en sert pour enlever la mauvaise odeur des matières putréfiées; c'est surtout pour décolorer les liquides et pour opérer la réduction des métaux qu'il est d'un emploi fréquent.

PHOSPHORE.—Découvert par Brandt, il est solide à la température ordinaire, insipide, d'une odeur faiblement alliacée A l'état de pureté, il est si flexible qu'on peut le plier sept à huit fois en sens inverses sans le rompre. 1/600[m] de soufre suffit pour le rendre cassant. L'ongle le raie facilement; sa pesanteur spécifique = 1,77. Sa couleur varie; à l'état ordinaire, il est transparent et jaunâtre; mais si on le refroidit brusquement après l'avoir fait fondre, il devient noir et opaque, pour redevenir transparent par un refroidissement lent. On ne sait à quoi attribuer ce phénomène.

Placé dans l'obscurité il y est lumineux, de là le nom qu'on lui a donné.

Soumis à l'action de la chaleur, il fond à 43°, et si alors on le laisse refroidir lentement, puis que l'on perce la croûte qui se forme à sa surface et que l'on fasse écouler les parties encore liquides, on trouve les autres cristallisées en aiguilles ou en octaèdres. Si, pendant qu'il est fondu, on l'agite avec un liquide (alcool, éther, eau), jusqu'à réfroidissement, on peut le réduire en poudre plus ou moins fine. Chauffé en vaisseau clos, il se volatilise, de là vient qu'on peut le distiller. Cette distillation a lieu bien au-dessous de la chaleur rouge, et doit être conduite avec beaucoup de précaution, car ce corps brûle avec une grande facilité.

Exposé aux rayons solaires le phosphore devient rouge, et cela tout aussi bien dans le vide, dans l'hydrogène, l'azote, que dans l'air. On a attribué cette propriété à un peu d'eau qui serait décomposee et formerait de l'oxide rouge; mais d'autres pensent que cela tient à un arrangement moléculaire particulier.

Aussitôt que le phosphore se trouve en contact avec le gaz oxigène, à une température élevée, il y brûle avec éclat et il se

produit des vapeurs blanches d'acide phosphorique anhydre et aussi toujours un peu d'oxide rouge. Au-dessous de 27° et sous la pression de 76 centimètres, le phosphore n'agit point sur l'oxigène à moins que la pression ne soit diminuée; mais toutefois, quelle que soit cette diminution, l'action n'a plus lieu à + 5°. Si, au lieu de diminuer la pression on l'augmente, il faudra une plus forte température pour déterminer la combustion du phosphore. Ce qu'il y a de plus remarquable, c'est que l'addition d'une petite quantité d'azote, d'hydrogène ou d'acide carbonique, produit le même effet qu'une diminution de pression; ce qui a fait penser à M. Bellani de Monza, à qui l'on doit ces observations, que les atomes d'un même gaz avaient encore une certaine force attractive, qui était diminuée par la présence d'un autre gaz. Cette propriété nous explique assez pourquoi le phosphore brûle à l'air en donnant lieu à de l'acide phosphatique.

L'eau ne dissout point le phosphore; mais si cette eau contient de l'air, il se fait de l'oxide rouge, surtout sous l'influence de la lumière, et probablement de l'acide phosphoreux qui se dissout dans l'eau; le fait est que l'eau devient acide. Cette raison fait qu'on doit le conserver dans de l'eau bouillie et refroidie. Cependant, au bout de quelque temps, les bâtons se recouvrent d'une croûte que l'on prenait pour un oxide particulier, mais que M. Pelouse a démontré n'être que de l'hydrate formé de quatre atomes de phosphore et d'un atome d'eau.

Le phosphore ne se trouve pas pur, mais à l'état de combinaison, dans les os constituant du phosphate de chaux : il fait partie de la matière cérébrale et des nerfs et de la laitance de la carpe.

Préparation. — On prend du phosphate acide de chaux qu'on réduit en consistance sirupeuse : on mêle ce sel avec le quart de son poids de charbon et l'on fait sécher le mélange, on l'introduit alors dans une cornue de grès lutée, placée dans un fourneau à réverbère : on lute au col de la cornue une allonge en cuivre qui plonge dans un flacon contenant de l'eau et muni d'un tube droit pour le dégagement du gaz. On chauffe peu à peu et fortement la cornue, au bout de deux heures il commence à se dégager des gaz oxide de carbone, hydrogène carboné et phosphoré qui proviennent de la décomposition, par le charbon, de l'eau que contenait le mélange; enfin, au bout de quatre heures de feu apparaît le phosphore qui vient se condenser dans l'eau du flacon, dans l'allonge et dans le col de la cornue. Le phos-

phore refroidi est placé dans une peau de chamois, dont on fait un nouet que l'on comprime au milieu d'eau bien chaude. Le phosphore traverse la peau, abandonnant sur elle un peu de charbon et surtout d'oxide de phosphore. Le phosphore encore fondu est moulé dans un tube, ce qui se fait en plongeant l'une de ses extrémités au milieu de la masse, et aspirant avec la bouche par l'autre extrémité; quand le tube est aux trois quarts à peu près plein, on le place dans l'eau froide pour solidifier le phosphore.

Usages. — Le phosphore est employé pour faire l'analyse de l'air, on en fait des briquets phosphoriques. Son action sur l'économie animale est des plus violentes, il est considéré comme un puissant stimulant dont l'action principale est d'exciter les organes génitaux.

7° SOUFRE, CHLORE, AZOTE, etc.

SOUFRE.—Connu de toute antiquité il est solide, jaune citron, insipide, très friable, à cassure luisante et inodore, cependant en le frottant il en prend une légère : un léger choc suffit pour le casser; lorsqu'on le serre dans la main, ou qu'on l'échauffe un peu, il craque et souvent il se rompt. Sa pesanteur spécifique = 1,99.

Le soufre conduit très mal le fluide électrique; quand on le frotte il se développe à sa surface du fluide électrique résineux. Soumis à une température de 108° il se fond; entre 110 et 140°, il est très limpide et jaune; à 160° il commence à s'épaissir, enfin de 220 à 250°, il est tellement épais qu'il ne coule plus, une plus forte température semble le liquéfier; sa couleur alors est brun-rouge. Il est à remarquer que si on vient à refroidir brusquement celui qui a été chauffé à 140°, il devient sec et cassant, pendant que celui qui a été chauffé assez pour devenir solide reste mou après le refroidissement subit. Ce phénomène est attribué à un arrangement particulier des molécules.

Si lorsqu'il est fondu on le laisse refroidir lentement, puis qu'on crève la croûte qui s'est formée pour en faire sortir les parties encore liquides, on trouve le fond du vase tapissé d'une foule d'aiguilles jaunâtres, dont la forme est incompatible avec celle des cristaux naturels. Enfin, le soufre chauffé convenablement se volatilise, et en se refroidissant, il constitue les fleurs de soufre.

L'oxigène n'a aucune action à froid sur le soufre; mais si l'on

plonge un morceau de soufre présentant un point en ignition, dans un vase plein d'oxigène, celui-ci s'y combine bientôt pour former de l'acide sulfureux, seule combinaison que puissent produire directement ces deux corps. Cette propriété est même celle qui caractérise le mieux le soufre en raison de l'odeur de l'acide sulfureux.

Le soufre est très répandu dans la nature tantôt libre, tantôt combiné; libre il existe aux environs des volcans; combiné il existe dans tous les sulfures, les sulfates et dans beaucoup de végétaux, particulièrement ceux de la famille des crucifères, etc.

Extraction. — On se procure le soufre par plusieurs procédés.

1° Aux environs des volcans on trouve des terres qui contiennent du soufre en assez grande quantité. Pour l'en extraire on place les matières terreuses dans des pots de terre cuite surmontés d'un tuyau qui communique avec d'autres pots, dont le fond est percé de trous, et qui reposent sur une tinette de bois remplie d'eau : en chauffant, le soufre se volatilise et vient se condenser dans l'eau de la tinette; dans cet état, on le nomme soufre brut. Comme il contient des matières étrangères, on le sublime. A cet effet, on le chauffe dans une chaudière communiquant avec une chambre en maçonnerie destinée à recevoir le soufre en vapeurs et à le condenser, sous forme de poudre et constituant la *fleur de soufre.* Si l'opération est convenablement continuée, il arrive une époque où la chambre échauffée ne condense les vapeurs qu'à l'état liquide, alors le soufre coule le long d'un plan incliné, et sort par un trou pratiqué à la partie inférieure et se rend dans des moules en bois humectés, et où il prend la forme qu'on connaît au *soufre en canon.* Afin de livrer passage à l'air raréfié par l'acide sulfureux qui s'est formé, on pratique, à la partie supérieure de la chambre, une soupape dirigée de dedans en dehors.

2° Certains sulfures en contiennent une grande quantité qu'on peut extraire par différents moyens, mais dont le meilleur est dû à M. Dartigues. Ce manufacturier prend des cylindres de terre très bons. On en met vingt-quatre sur deux rangs, dans un four particulier. On y introduit le sulfure réduit en fragments, par l'une des extrémités qu'on débouche et qu'on ferme à volonté; à l'autre extrémité se trouve un tuyau par lequel la distillation se fait, et qui porte le soufre dans des caisses de bois en partie pleines d'eau et fermées par un couvercle de plomb. Pendant l'opération, on a soin de ne pas trop élever la température, car si le sulfure fon-

dait, le cylindre serait indubitablement endommagé ; du reste, le sulfure en partie désulfuré est employé à la fabrication du sulfate de fer.

On se sert du soufre pour faire des allumettes, pour faire l'acide sulfurique, la poudre à canon, l'acide sulfureux, le sulfure de mercure, le sulfate de cuivre, etc.; enfin, en médecine, on l'emploie dans les maladies de la peau, etc.

SÉLÉNIUM. —Découvert par M. Berzélius, dans le soufre de Fahlun, c'est un corps dont les propriétés chimiques sont entièrement analogues à celles du soufre, et auquel on ne connaît encore aucun usage; il est très rare.

IODE. — Il a été découvert, en 1813, par M. Courtois. Il est solide à la température ordinaire, il est sous forme de petites lames, d'une couleur grise-bleuâtre approchant de celle de la plombagine. Sa tenacité est très faible; son odeur est analogue à celle du chlorure de soufre; sa pesanteur spécifique = 4,946. C'est un des corps les plus électro-négatifs. Il colore la peau en jaune et détruit les couleurs végétales à la manière du chlore.

L'iode entre en fusion à 107° et en ébullition à environ 175°; cependant, en raison de sa tension, il se vaporise dans l'eau bouillante; sa vapeur, dont la densité = 8,716, est toujours d'un très beau violet.

L'oxigène n'agit directement sur l'iode ni à froid, ni à chaud, cependant on connaît plusieurs combinaisons d'iode et d'oxigène; mais pour que l'action ait lieu, il faut que l'oxigène soit à l'état de gaz naissant.

Son action sur l'hydrogène est très grande, et analogue, quoique à un degré plus faible, à celle du brome et du chlore ; aussi l'enlève-t-il à une multitude de corps.

L'iode n'existe pas à l'état de pureté dans la nature; mais en combinaison on l'a trouvé dans beaucoup de fucus, dans les éponges, dans divers mollusques marins, uni à l'argent, etc.

Caractères essentiels. — L'iode mis en contact avec l'amidon s'y unit et forme une très belle couleur bleue; aussi l'emploie-t-on souvent pour reconnaître l'amidon.

L'iode s'extrait des eaux-mères des soudes de varech, où il existe à l'état d'iodure de potassium, ou hydriodate de potasse. Après les avoir convenablement concentrées, on les introduit dans une cornue avec un excès d'acide sulfurique concentré, on porte le tout à l'ébullition : une partie de l'acide sulfurique s'empare de la potasse et met l'acide hydriodique à nu ; cet acide cède

son hydrogène à un peu d'oxigène de l'autre partie d'acide sulfurique; de là formation d'eau et d'acide sulfureux, pendant que l'iode régénéré devient libre, ou plus simplement une portion d'acide sulfurique se décompose en acide sulfureux et en oxigène qui s'unit avec le potassium de l'iodure, forme de la potasse qui s'unit à l'acide sulfurique restant. L'iode devenant libre se dégage et vient se condenser dans un récipient que l'on a adapté à la cornue. En le lavant, le redistillant sur un peu d'eau contenant un peu de potasse, le desséchant entre des feuilles de papier *Joseph*, et le fondant dans un tube, on a l'iode suffisamment pur.

L'iode est employé en médecine seul ou à l'état d'iodure de potassium, pour faire disparaître les goîtres et certaines autres tumeurs.

BROME. — C'est un corps nouvellement découvert par M. Balard; il est liquide à la température ordinaire, d'un rouge brun, en masse et d'un rouge hyacinthe en couche mince; son odeur, forte, désagrable, est analogue à celle du chlore; sa saveur est très caustique; comme l'iode il colore fortement la peau en jaune. C'est un poison énergique; une goutte, déposée dans le bec d'un oiseau, suffit pour le tuer.

Exposé à un froid de 20°, il se solidifie et devient cassant : à + 47°, il entre en ébullition et répand des vapeurs rouges comme celles de l'acide hypo-azotique.

Il ne se combine pas directement avec l'oxigène; cependant, à l'état de gaz naissant, la combinaison se fait et l'on connaît même plusieurs combinaisons.

Son affinité pour l'hydrogène est beaucoup plus grande, aussi s'y combine-t-il, sous l'influence solaire, pour former du gaz bromhydrique; il a plus d'affinité pour l'hydrogène que l'iode.

On extrait le brome du bromure de magnésium, lequel se rencontre dans les eaux-mères des salines. On prend une certaine quantité de ces eaux-mères, on y fait arriver un courant de chlore qui forme du chlorure de magnésium et met le brome à nu; celui-ci reste en dissolution dans la liqueur. On agite la liqueur avec de l'éther qui dissout le brome et décolore le liquide. On verse ensuite une dissolution de potasse qui forme, en cédant de son oxigène à une portion de brome, du bromate de potasse et du bromure de potassium; on évapore les liqueurs à siccité et l'on calcine le résidu formé de bromure et de bromate. Par ce moyen le bromate, en perdant tout son oxigène, devient éga-

lement bromure de potassium. On met dans une cornue de verre, munie à son bec d'un tube recourbé plongeant dans un flacon qui contient de l'eau, ce bromure mêlé avec du peroxide de manganèse et de l'acide sulfurique. Bientôt le brome libre vient se précipiter dans l'eau du flacon. (Voyez pour sa théorie celle du chlore.)

CHLORE. — Il fut découvert, en 1774, par Scheele, qui lui donna le nom *d'acide marin déphlogistiqué*. Plus tard, quand on réforma la nomenclature chimique, on lui donna le nom *d'acide muriatique oxigéné*. Bientôt après Kirwan lui donna celui de *gaz oxy-muriatique;* mais mieux étudié par Berthollet, Guyton-Morveau, M. Chenevis; enfin, par MM. Gay-Lussac et Thénard, etc., ces derniers conclurent que ce corps était simple et proposèrent pour lui le nom de *chlore*, qui fut bientôt généralement adopté.

Le chlore est un gaz jaune verdâtre, d'une saveur et d'une odeur tellement fortes et caractérisées qu'elles permettent de le reconnaître avec facilité. Sa pesanteur spécifique = 2,4216. Il décolore la teinture de tournesol, en la jaunissant; il éteint les bougies allumées; mais la flamme pâlit, et rougit d'abord.

Exposé à un froid de —50°, si le chlore est bien sec, il ne change pas d'état; mais pour peu qu'il soit humide, il se congèle et forme un hydrate qui, selon M. Faraday, est formé de 27,7 de chlore et 72,13 d'eau. Toutefois en unissant la compression au refroidissement on peut l'obtenir à l'état liquide. (Faraday.)

Le chlore ne se combine avec l'oxigène qu'autant que l'un des deux se trouve à l'état naissant : on connaît quatre combinaisons de chlore et d'oxigène.

De toutes les propriétés du chlore, la plus remarquable est celle qu'il présente dans son contact avec l'hydrogène. En effet, ces gaz s'unissent en volumes égaux pour donner naissance à du gaz *chlorhydrique*. Mais cette combinaison est accompagnée de phénomènes particuliers : 1° si l'on place un mélange à volumes égaux de chlore et d'hydrogène dans un lieu obscur, quel que soit le temps qu'on emploie la combinaison n'a pas lieu; 2° si le pareil mélange est placé dans une lumière diffuse la combinaison se fait, mais lentement encore, et on est obligé pour la terminer d'exposer le mélange à l'action des rayons solaires; 3° si l'on expose le mélange immédiatement à la lumière solaire, la combinaison se fait instantanément avec rupture du flacon qui contenait le mélange; le feu agit de la même manière.

L'eau à la température ordinaire dissout une fois et demie son volume de chlore et la dissolution possède les mêmes propriétés que le chlore. En l'exposant à une température de 2 à 3 degrés au-dessous de zéro, il s'y produit une foule de cristaux lamelleux, jaunes foncés, formés d'eau et de chlore.

Le chlore n'existe pas à l'état libre dans la nature ; mais à l'état de combinaison il fait partie de l'acide chlorhydrique et de tous les chlorures.

Préparation. — Pour l'obtenir on met dans un ballon du peroxide de manganèse sur lequel on verse de l'acide chlorhydrique : aussitôt une effervescence, due au dérangement du chlore, a lieu ; celui-ci est conduit par un tube sous des flacons pleins d'eau saturée de sel marin.

La théorie est très simple : une partie d'acide est décomposée en chlore qui se dégage, et en hydrogène qui s'unit à une partie de l'oxigène du peroxide de manganèse pour former de l'eau. Le peroxide ramené à l'état de protoxide se combine à une autre portion d'acide pour former de l'eau et du chlorure de manganèse. Disons ici que s'il se dégage du chlore, c'est parce qu'il ne se forme pas de chlorure de manganèse correspondant au peroxide. On peut encore obtenir le chlore en faisant un mélange de chlorure de sodium ou de sel marin, de peroxide de manganèse, sur lequel on verse de l'acide sulfurique étendu d'eau ; l'eau en se décomposant cède son hydrogène au chlore du chlorure pour former de l'acide chlorhydrique qui réagit sur le peroxide comme nous l'avons dit plus haut, pendant que son oxigène en se combinant au sodium forme de la soude qui s'unit à l'acide sulfurique et constitue du sulfate de soude. Cette théorie s'applique à la préparation du brome.

FLUOR OU PHTORE. — Ce corps ne pouvant être obtenu à l'état libre, car il corrode tous les vases dans lesquels on a cherché à l'obtenir, n'a pu ni être étudié ni recevoir aucune application. On sait seulement qu'il est après l'oxigène le plus électro-négatif de tous les autres corps, puisque toutes ses combinaisons, exposées à l'action de la pile, donnent toujours lieu, au pôle positif, à la formation d'un fluorure par la combinaison du fluor avec le fil conducteur.

AZOTE. — Il est gazeux, incolore, inodore et insipide ; il éteint les corps en combustion ; sa pesanteur spécifique = 0,9757.

Le froid le dilate sans le faire changer d'état ; il réfracte peu la lumière ; l'oxigène n'a aucune action directe sur lui quelle que

soit la température; cependant il paraît que l'étincelle électrique donnerait lieu à la formation d'un peu d'acide azotique quand les gaz sont humides. Quoi qu'il en soit, on sait qu'il existe plusieurs combinaisons d'oxigène et d'azote, mais ces combinaisons ne se font bien qu'en présentant l'un à l'autre ces deux corps à l'état de gaz naisant.

Caractères essentiels. — On le reconnaît toujours à ce que 1° il est incolore; 2° il éteint les corps en combustion; 3° il ne rougit pas la teinture de tournesol; 4° il est insoluble dans l'eau; 5° enfin il ne précipite pas l'eau de chaux. L'azote est très répandu dans la nature; il fait partie des nitrates, de l'ammoniaque, de certaines matières végétales et de presque toutes les matières animales. Enfin il forme à peu près les $\frac{4}{5}$ du volume de l'air atmosphérique. C'est à Lavoisier qu'on en doit la découverte en 1775.

Extraction. — On l'extrait de l'air atmosphérique. A cet effet, on fait brûler, dans une certaine quantité d'air, un léger excès de phosphore; le phosphore s'empare de l'oxigène, forme de l'acide phosphorique et met en liberté le gaz azote dans lequel se trouve un peu de phosphore en vapeur; on le sépare en faisant passer dans le gaz quelques bulles de chlore qui forme du chlorure de phosphore. On ajoute dans le flacon un peu de potasse, on le bouche et l'on agite; la potasse dissout le chlorure, l'excès de chlore, ainsi qu'un peu d'acide carbonique; quant à l'azote, il surnage le liquide et peut être considéré comme pur.

Une manière très simple pour se procurer l'azote, consiste à faire un mélange de chlore liquide et d'ammoniaque. Le chlore ayant plus d'affinité pour l'hydrogène que l'azote, s'empare de l'hydrogène de l'ammoniaque, forme de l'acide chlorhydrique, et l'azote est mis en liberté; enfin l'acide formé se combine à l'ammoniaque non décomposée pour donner naissance à du chlorhydrate d'ammoniaque.

8° AIR ATMOSPHÉRIQUE.

On a donné le nom d'atmosphère à cette masse gazeuze qui enveloppe la surface du globe jusqu'à la hauteur de quinze à seize lieues; elle est formée par un mélange d'azote, d'oxigène,

dans la proportion de 79 volumes du premier et 21 du second. d'un peu d'acide carbonique et de vapeurs d'eau; de plus on y trouve encore du calorique, de l'électricité et de la lumière. Enfin l'air peut contenir toutes les substances qui sont susceptibles de se gazéifier.

L'air est un fluide invisible, transparent, inodore, insipide, compressible et très élastique. Un litre d'air à la température de zéro et à la pression de 0 m. 76 pèse 1 gram. 2991. C'est à l'air pris pour unité que l'on compare le poids de tous les autres gaz. L'air, comme tous les gaz, est soumis à la loi de Mariotte, c'est-à-dire qu'il se resserre en raison du poids qui le comprime, ou, ce qui revient au même, que le volume qu'il occupe est en raison inverse de la pression qu'il éprouve. Il est mauvais conducteur de l'électricité, à moins qu'il ne soit humide. La pesanteur de l'air, d'abord soupçonnée, puis vue, fut découverte par Galilée, en 1640, et mise hors de doute par Pascal et Toricelli. Ce fut en 1630 que Jean Rey publia des expériences qui prouvèrent que l'air contenait un corps susceptible de se fixer sur l'étain pendant sa calcination et d'en augmenter le poids.

Exposé à la plus forte chaleur ou au plus grand froid, l'air n'éprouve aucune altération. Sa puissance réfractive, à laquelle celle de tous les autres gaz est comparée = 1. Soumis à un courant d'étincelles électriques, il n'est altéré que lorsqu'il contient une certaine quantité d'eau ou une matière alcaline, alors il se forme de l'acide nitrique; ce qui explique pourquoi les pluies d'orages contiennent souvent cet acide.

L'oxigène se mêle à l'air sans contracter aucune combinaison. Tous les métalloïdes, excepté le chlore, le brome, l'iode, et l'azote, peuvent absorber l'oxigène que contient l'air, en sorte que l'on obtient les mêmes produits que si l'on agissait avec l'oxigène, seulement l'action est moins vive et il reste toujours une certaine quantité d'azote libre. L'hydrogène ne décompose l'air que par l'étincelle ou une chaleur incandescente, à moins qu'il ne soit sous l'influence du platine, du palladium, du rhodium ou de l'iridium.

Ce n'est qu'à une température rouge que le bore agit sur l'air et passe à l'état d'acide borique.

Le charbon, à la température et à la pression ordinaires, absorbe plusieurs fois son volume d'air; il se forme sans doute, sous l'influence de la lumière, un peu d'acide carbonique. Mais, si la température est élevée, le charbon prend feu, se consume et

disparaît, si ce n'est qu'il laisse un peu de cendre. Dans ce cas c'est encore de l'acide carbonique qui prend naissance, mais en beaucoup plus grande quantité. Cependant, s'il y avait excès de charbon par rapport à la quantité d'air et que la température fût élevée, ce ne serait plus que de l'oxide de carbone qui se formerait.

Le phosphore à froid forme avec l'oxigène de l'air une combinaison particulière que nous connaîtrons sous le nom d'acide phosphatique; mais en même temps que cette combinaison se fait il y a dégagement de calorique et de lumière apparente seulement dans l'obscurité; à chaud, au contraire, il ne se formerait que de l'acide phosphorique avec dégagement de calorique et de lumière.

Ce n'est qu'à une température au-dessus du terme de sa fusion que le soufre agit sur l'air, et alors il se forme de l'acide sulfureux en même temps qu'un dégagement de calorique et de lumière bleuâtre.

Le sélénium n'agit aussi sur l'air qu'à une température très élevée, il se produit alors de l'oxide de sélénium ou de l'acide sélénieux, selon la manière dont on opère.

Parmi les métaux, il n'y a que l'argent, l'or, le platine, le palladium, le rhodium et l'iridium, qui soient sans action sur l'air; tous les autres s'emparent de son oxigène, les uns à la température ordinaire, les autres à une basse température, d'autres enfin exigent une température élevée.

On peut se procurer de l'air très facilement. Il suffit de remplir un flacon d'eau ou de mercure, et de le vider dans l'endroit d'où l'on veut retirer une partie de ce fluide; à mesure que l'eau ou le mercure sort du vase, l'air le remplace.

Nous avons donné en commençant la composition de l'air, il ne nous reste plus qu'à donner les moyens de parvenir par l'analyse à la démontrer. Il est aisé de s'assurer que l'air contient de l'eau; pour cela on place un mélange réfrigérant au milieu d'une certaine quantité d'air : la vapeur tenue en suspension se condense sur le vase qui contient le mélange. On reconnaît la présence de l'acide carbonique en plaçant de l'eau de chaux dans une capsule plongeant dans un vase plein d'air; en effet, bientôt il se forme un précipité de carbonate de chaux. Enfin pour séparer l'oxigène de l'azote, on peut employer plusieurs procédés; que l'on fasse passer de l'hydrogène dans une quantité donnée d'air, par l'étincelle électrique, l'hydrogène brûlera en fixant l'oxigène pour former de l'eau, et l'azote sera mis en liberté. On

peut encore parvenir au même moyen par la combustion du phosphore. (Voir l'article *azote*, sa préparation.)

Il n'est point de corps dont les usages soient plus importants que ceux de l'air; pour en être convaincu il suffit de dire que c'est par lui qu'on obtient ces combustions qui produisent la chaleur et la lumière artificielles; que c'est de l'air que provient l'oxigène qui sert à la formation de l'acide sulfurique; qu'enfin tous les animaux le respirent sans cesse, que sans lui aucun d'eux ne vivrait, et qu'il en est de même des végétaux.

CHAPITRE III.

COMBINAISONS DES MÉTALLOÏDES ENTRE EUX.

Nous avons vu que tous les métalloïdes peuvent se combiner avec l'oxigène. Tantôt de ces combinaisons résultent des corps neutres, tantôt il en résulte des corps dont la propriété essentielle est d'être acides, c'est-à-dire de pouvoir se combiner avec les différentes *bases salifiables* pour former des sels. Mais ces combinaisons, constituant les oxides ou les acides métalloïdiques, en raison de leur importance, seront traitées dans le chapitre suivant; nous allons dans celui-ci examiner les combinaisons des métalloïdes entre eux en suivant, pour les étudier, l'ordre d'après lequel nous les avons présentés; et afin de ne pas nous éloigner du but que nous nous proposons, nous ne nous étendrons convenablement que sur ceux de ces composés qui méritent réellement d'être traités avec quelque importance.

ART. I. — DES COMBINAISONS DE L'HYDROGÈNE.

L'hydrogène, en se combinant avec les métalloïdes, donne naissance à des composés dont les propriétés sont si différentes qu'on peut les diviser en trois séries bien tranchées.

La première comprendra les composés neutres.

La seconde comprendra ceux dont les propriétés sont acides, on les nomme *hydracides*.

La troisième comprendra ceux dont les propriétés sont alcalines, telle est l'ammoniaque.

Les combinaisons neutres que forme l'hydrogène, portent généralement le nom d'*hydrures;* parmi elles, il n'en est que deux qui offrent quelque intérêt, ce sont celles qu'il forme avec le carbone et avec le phosphore.

Nous devons faire observer de suite que bien qu'aux yeux de quelques chimistes, l'hydrogène bi-carboné et l'hydrogène phosphoré jouent dans quelques cas le rôle de bases, cependant nous continuerons toujours à les considérer comme neutres, attendu qu'ils ne se combinent pas directement avec les acides et surtout qu'ils ne verdissent pas le sirop de violette, ni ne rougissent le papier de curcuma.

9° HYDROGÈNE PROTO ET BI-CARBONÉ; HYDROGÈNE PHOSPHORÉ, etc.

Combinaisons du carbone et de l'hydrogène.

Long-temps on a cru que le carbone ne se combinait avec l'hydrogène qu'en deux proportions; plus tard Dalton découvrit une troisième combinaison; enfin dans ces derniers temps on en a trouvé une foule d'autres sur le nombre desquelles les chimistes sont peu d'accord. Quoi qu'il en soit, nous devons traiter ici des deux combinaisons les mieux étudiées : ce sont le proto-carbure et le bi-carbure d'hydrogène. Nous trouverons occasion plus tard de parler des autres.

PROTO-CARBURE D'HYDROGÈNE. (*Hydrogène proto-carboné; gaz inflammable des marais.*) — Ce gaz est insipide, inodore, sans couleur, insoluble dans l'eau; sa densité = 0,5595, égale à deux fois celle de l'hydrogène, plus une fois celle de la vapeur du carbone; mêlé à l'air ou l'oxigène, il détonne sur-le-champ par l'étincelle électrique; si l'on allume un jet de ce gaz dans l'air, il y brûle avec une flamme jaunâtre. Le chlore peut le décomposer instantanément; à la température rouge, il s'empare de l'hydrogène, forme de l'acide chlorhydrique et met le carbone à nu.

Ce gaz se trouve dans la vase des marais et de toutes les eaux

stagnantes; de temps en temps, il vient crever sous forme de bulles à la surface du liquide; il provient sans doute de la décomposition qu'éprouvent sous l'eau les matières organiques, surtout en été. On le trouve dans certaines mines : de là le nom de *mofette des mines ;* c'est lui qui produit ces feux naturels que l'on voit sur la pente septentrionale des Apennins, etc.

Pour l'obtenir, il suffit d'agiter la vase, et de recevoir le gaz qui se dégage, en tenant au-dessus des flacons pleins d'eau et munis de larges entonnoirs.

L'analyse y a démontré un peu de gaz carbonique, d'azote et d'oxigène; on peut en séparer l'oxigène avec le phosphore, et l'acide carbonique avec de la potasse; mais on ne peut le priver du peu d'azote qu'il contient. Abstraction faite des gaz que nous venons de citer, il absorbe en brûlant deux fois son volume d'oxigène, et produit un volume d'acide carbonique égal au sien; d'où l'on peut voir qu'il est formé d'un volume de vapeur de carbone, et de deux volumes d'hydrogène, condensés en un seul, $= C H^2$.

BI-CARBURE D'HYDROGÈNE. (*Hydrogène bi-carboné, gaz oléfiant.*)— Ce gaz est incolore, insipide, d'une odeur empyreumatique, éteignant les corps en combustion; sa densité = 0,9852. (Théodore de Saussure.)

Quand on le fait traverser un tube de porcelaine incandescent, il est décomposé en charbon qui se depose et en gaz dont le volume est presque double. Si la chaleur est assez forte, et surtout si l'on fait passer le gaz à plusieurs reprises différentes, ou mieux si l'on y fait passer une grande quantité d'étincelles électriques, on obtient le double d'un gaz qui n'est plus que de l'hydrogène pur; d'où il résulte que tout le charbon s'est déposé. L'air ni l'oxigène ne le décomposent à la température ordinaire, pendant qu'au contraire l'un et l'autre le décomposent à une température élevée, en formant de l'eau et de l'acide carbonique. Si l'air ou l'oxigène était préalablement mêlé au gaz au moment où l'on approcherait une bougie enflammée, il y aurait instantanément détonnation.

L'eau en dissout le sixième de son volume.

Le chlore peut le décomposer et former un liquide oléagineux qu'on nomme *hydro-bi-carbure de chlore*, sorte d'éther qui serait mieux appelé *chlorhydrate de quadri-carbure d'hydrogène.* Dans cette manière de voir, on admet que le chlore se combine à la moitié de l'hydrogène pour former l'acide chlorhydrique,

pendant que l'autre moitié resterait combinée à tout le carbone. Cette propriété lui a valu le nom de gaz oléfiant.

Le soufre et l'iode peuvent également le décomposer : le premier, à la chaleur de la lampe, en formant de l'acide sulfhydrique avec son hydrogène, et le second en formant un composé cristallisé, analogue par sa composition à celui que forme le chlore, mais dans lequel le chore est remplacé par l'iode.

Le bi-carbure d'hydrogène n'existe pas dans la nature ; on l'obtient en chauffant dans une cornue quatre parties d'acide sulfurique concentré et une d'alcool; peu à peu le gaz se dégage, et on le reçoit dans des vases sur le mercure; ce gaz est toujours accompagné d'acide sulfureux et d'acide carbonique qui se produisent toujours; mais en l'agitant avec un peu de potasse caustique, qui dissout les deux gaz acides, on l'obtient pur. Pour concevoir la formation de ce gaz, il faut se représenter l'alcool comme formé de bi-carbure d'hydrogène et d'eau; dans cette hypothèse, qui paraît être la vraie, l'acide sulfurique avide d'eau s'empare de celle qui constitue l'alcool, et laisse à nu le bi-carbure qui se dégage. Mais pendant la réaction, un peu d'acide sulfurique est décomposé en acide sulfureux qui se dégage, et en oxigène, qui décompose un peu de bi-carbure, en formant de l'eau et de l'acide carbonique.

Ce gaz est employé en France et en Angleterre pour l'éclairage; mais celui dont on se sert provient, soit de la distillation de la houille, soit de la décomposition de l'huile, par une haute température. Seulement, alors les gaz ne sont pas purs, ce qui est sans inconvénient pour l'objet en vue duquel ils sont préparés.

L'analyse a démontré que ce gaz était formé de deux volumes de vapeur de carbone, et de deux volumes d'hydrogène, condensés en un seul, $= C^2 H^2$ ou $C H$.

Il existe une foule d'autres combinaisons de carbone et d'hydrogène dans les mêmes proportions, mais dans d'autres états de condensation, et qui peuvent porter également le nom de bi-carbure d'hydrogène; tels sont le méthylène ($C H$), le bi-carbure gazeux ($C^4 H^4$), le bi-carbure liquide, l'huile douce de vin concrète, la paraffine, l'essence de rose concrète, le cétène, ($C^{64} H^{64}$) l'eupione, le caoutchène, etc.

Combinaisons du phosphore et de l'hydrogène.

Le phosphore se combine bien avec l'hydrogène; mais en combien de proportions se fait cette combinaison? Dans l'état actuel de nos connaissances, nous sommes en droit de poser cette question. Cependant, comme les chimistes ne sont nullement d'accord à ce sujet, nous allons ici en reconnaître deux; seulement nous aurons soin de rapporter les raisons qui ont porté quelques uns à n'admettre qu'une seule combinaison, et quelques autres à en admettre deux. En suivant cette marche, nous aurons rapporté la manière de voir de M. Dumas.

PROTO-PHOSPHURE D'HYDROGENE. (*Hydrogène proto-phosphoré.*) — Ce gaz est incolore, d'une odeur désagréable, analogue à celle de l'arsenic en vapeur. Sa pesanteur spécifique =1,214. Il ne s'enflamme pas à la température ordinaire, mais bien si la température est un peu élevée.

L'eau en dissout le huitième de son volume à la température ordinaire.

Le proto-phosphure d'hydrogène se forme dans les mêmes circonstances que le gaz suivant, seulement sa production est plus fréquente en raison de ce qu'il est plus stable.

On prépare ce gaz en chauffant une dissolution concentrée d'acide hypo-phosphoreux, phosphoreux ou phosphatique. L'eau se décompose, son oxigène s'unit à une portion de l'acide lui-même pour le transformer en acide phosphorique, pendant que son hydrogène se combine à une partie de phosphore pour former l'hydrogène phosphoré qui se dégage, et que l'on reçoit sous des cloches pleines de mercure.

L'analyse a démontré à M. Dumas, pour sa composition, trois volumes d'hydrogène et un volume de vapeur de phosphore, condensés en deux volumes $= H^3 P$.

Il est sans usages.

SESQUI PHOSPHURE D'HYDROGÈNE. — Découvert par M. Gengembre; il est toujours gazeux, sans couleur. Son odeur est très forte et analogue à celle de l'ail ou de l'ognon; sa saveur est amère; sa densité = 1,761.

Exposé à une température élevée, il perd le tiers de son phosphore, et devient proto-phosphure; abandonné à lui-même pendant deux ou trois jours, il subit le même changement. Selon

M. Thompson, une série d'étincelles électriques produirait le même effet.

Si on le fait passer dans un tube étroit avec de l'air ou de l'oxigène, il se forme des vapeurs blanches sans dégagement de lumière, et le phosphore acidifié se dépose, pendant que l'hydrogène devient libre. Si au lieu d'un tube étroit on fait usage d'un tube large, il se produit tout-à-coup des vapeurs blanches, et de plus une combustion très vive. Ce qui tient dans le premier cas à ce que les parois, trop rapprochés du tube étroit, enlèvent la chaleur à mesure qu'elle se développe.

La propriété que possède ce gaz de s'enflammer spontanément est caractéristique, et permet de toujours le reconnaître. En effet, que l'on fasse passer ce gaz, bulle à bulle, dans l'air, aussitôt chaque bulle en s'enflammant donne naissance à de la vapeur d'eau et d'acides qui s'élèvent sous forme d'aréoles.

Il est un peu soluble dans l'eau.

On pense que ce gaz se forme dans les lieux où se trouvent enfoncées des matières animales, et que, traversant les fissures du terrain, il arrive dans l'atmosphère, s'enflamme, et produit ce qu'on désigne sous le nom de feux follets. En effet, on sait que certaines matières animales, telles que la matière cérébrale, contiennent du phosphore, qui peut s'unir à l'hydrogène au moment où la décomposition putride s'opère.

On obtient le sesqui-phosphure d'hydrogène en chauffant dans une fiole une pâte faite avec de la chaux, du phosphore coupé et de l'eau; le gaz ne tarde pas à se produire et à se dégager. L'eau se décompose, cède son hydrogène à une partie de phosphore pour former le gaz sesqui-phosphure, tandis que l'oxigène s'unit à l'autre pour former de l'hypo-phosphite de chaux. Remarquons ici que M. Dumas n'a jamais pu parvenir à l'obtenir exempt d'hydrogène.

M. Dumas, qui a fait l'analyse du sesqui-phosphure d'hydrogène, l'a trouvé formé d'un volume et demi de vapeur de phosphore, et de trois volumes d'hydrogène, condensés en deux volumes; d'où la formule $H^2 P$.

Dans ce dernier temps, M. Rose a été porté à considérer les deux gaz précédents comme isomériques. En effet, l'analyse directe des deux gaz, l'identité des composés qu'ils forment avec certaines chlorures métalliques, la propriété qu'ils ont l'un ou l'autre de se transformer en gaz spontanément inflammable quand on les dégage de leur combinaison avec les chlorures par l'ammo-

niaque, et au contraire de n'être plus spontanément inflammables si l'on se sert d'eau pure, d'acide chlorhydrique ou de potasse liquide, sont autant de preuves sur lesquelles repose la manière de voir de M. Rose.

M. Leverrier, au contraire, admet que le gaz spontanément inflammable ne doit cette propriété qu'à la présence d'une petite quantité d'un phosphure particulier PH^2 qui s'y trouve mélangé.

ART. II. — DES COMBINAISONS DU CARBONE.

Le carbone se combine avec l'hydrogène, le soufre, le chlore et l'azote. Parmi ces combinaisons, une seule est importante: c'est la combinaison du carbone et de l'azote; nous allons dire un mot seulement des autres combinaisons. On a désigné ces sortes de combinaisons sous le nom de *carbures*, ce qui n'est pas conforme à la nomenclature, puisque, par exemple, dans le *carbure de chlore*, c'est le chlore qui est le plus électro-négatif. Dans ce cas, il vaut donc mieux dire *chlorure de carbone*. Nous devons faire remarquer ici qu'il n'est point indifférent de désigner ce corps par ces deux manières, quand on emploie les mots proto ou deuto. En effet, si nous voulons employer ces deux dénominations pour les chlorures de carbone, nous sommes forcés de dire *proto-chlorure de carbone* ou *deuto-carbure de chlore* pour désigner le même corps. On conçoit de suite, par cet exemple, quelle confusion jette dans le langage chimique une semblable liberté.

Combinaison du soufre et du carbone.

On ne connaît bien encore qu'une seule combinaison de soufre et de carbone.

SULFURE DE CARBONE.—Découvert par Lampadius; il est liquide, transparent, très volatil, d'une odeur très désagréable, et d'une saveur âcre et caustique; sa pesanteur spécifique $=1,263$. Il bout à 45 degrés; brûlé à l'air, il s'enflamme en formant de l'acide sulfureux et de l'acide carbonique.

Il est formé, d'après MM. Berzélius et Marcet, d'un atome de soufre et d'un atome de carbone; d'où la formule C S.

Pour l'obtenir, on fait passer du soufre en vapeur sur du charbon calciné, contenu dans un tube de porcelaine incandescent.

Il est inusité et n'existe pas dans la nature.

Combinaisons du chlore et du carbone.

Le chlore se combine en deux proportions avec le carbone; c'est à M. Faraday qu'on doit la découverte de ces deux chlorures.

PROTO-CHLORURE DE CARBONE. — Il est liquide, incolore et limpide. On l'obtient assez facilement en décomposant par la chaleur le sesqui-chlorure de carbone, ce qui se fait en le faisant traverser lentement par distillation un tube de porcelaine incandescent.

Il est composé d'un atome de chlore et d'un atome de carbone $= C\,Ch$.

SESQUI-CHLORURE DE CARBONE. — Ce corps est solide, cristallin, très friable, transparent, incolore, presque insipide, d'une odeur analogue à celle du camphre. Il fond à 160 degrés, et bout à 182. Il est volatil.

On l'obtient en exposant au soleil un mélange de chlore et de chlorhydrate, de quadri-carbure d'hydrogène. Bientôt la décomposition a lieu : une partie du chlore se combine à l'hydrogène du quadri-carbure, forme de l'acide chlorhydrique, et le chlore se combine avec le carbone à l'état naissant. On le purifie en prenant les cristaux qui se forment, les pressant entre des feuilles de papier, et les sublimant.

Il est composé de trois atomes de chlore, et de deux atomes de carbone $= C^2\,Ch^3$.

Combinaison de l'azote et du carbone.

La seule combinaison bien définie que forment l'azote et le carbone est le cyanogène.

AZOTURE DE CARBONE. (*Carbure d'azote, cyanogène.*) — Découvert par M. Gay-Lussac. Il est gazeux, inflammable, d'une odeur très vive et pénétrante. Sa densité = 1,8064. Il rougit la teinture de tournesol.

Comprimé et refroidi en même temps, il se liquéfie. M. Bussy non seulement l'a liquéfié, mais encore solidifié par le froid seul. Le cyanogène ne se décompose pas à une très forte température. Il a très peu d'affinité pour l'oxigène; il ne s'unit qu'autant que les deux gaz se trouvent sous l'influence des alcalis. L'hydrogène

ne s'y combine également qu'à l'état naissant; de là de l'acide cyanhydrique.

La propriété la plus remarquable du cyanogène consiste dans la manière dont il se combine aux métaux; en effet, il s'y combine sans décomposition et tout-à-fait de la même manière que le ferait le chlore, le brome, l'iode, etc., et forme des combinaisons analogues aux chlorures, iodures, etc., que l'on nomme *cyanures*.

L'eau en dissout à peu près quatre fois et demie son volume.

Le cyanogène n'existe pas dans la nature.

On l'obtient en chauffant dans une cornue du cyanure de mercure bien sec et cristallisé. Bientôt le gaz se sépare du mercure, et vient se dégager dans des éprouvettes placées sur la cuve à mercure. Il est essentiel d'employer du cyanure sec, autrement, au lieu de cyanogène, on n'obtiendrait que de l'acide cyanhydrique, de l'acide carbonique et de l'ammoniaque.

Le cyanogène est formé d'un atome d'azote et de deux atomes de carbone $= C^2 Az$.

Art. III. — des combinaisons du phosphore.

Le phosphore se combine avec l'hydrogène, le soufre, le sélénium, l'iode et le chlore. La première combinaison a été traitée plus haut; quant aux autres, elles sont à peu près inusitées. Nous ne traiterons ici que des combinaisons du soufre, de l'iode et du chlore.

Combinaisons du soufre et du phosphore.

Le phosphore et le soufre se combinent en plusieurs proportions; mais ces combinaisons ne sont pas bien définies. Il en résulte qu'elles varient beaucoup. Le sulfure de phosphore est toujours jaunâtre, quelquefois liquide; ce qui dépend de la quantité de phosphore; en effet, si le sulfure est formé de 7 parties de phosphore et de 5 de soufre, il est toujours liquide, même sous zéro, et toujours plus pesant que l'eau. Il est volatil. Exposé à la chaleur, au contact de l'air, ou de l'oxigène, il s'enflamme et donne lieu à de l'acide sulfureux et de l'acide phosphorique.

On l'obtient en faisant fondre du phosphore dans un tube fermé par un bout et y ajoutant peu à peu du soufre divisé en

fragments. On attend, pour ajouter d'autre soufre, que le petit bruit occasionné par la combinaison soit passé.

Ce corps, dont on doit la découverte à Margraff, a été étudié récemment par M. Faraday. Ce chimiste a vu que le sulfure de phosphore, formé de 7 parties de phosphore et 5 de soufre, conservé sous l'eau pendant quelque temps, avait abandonné des cristaux de soufre pur, en même temps qu'il avait perdu de sa fusibilité, et qu'alors, exposé quelques heures à une température de 3 à 4 degrés, il s'était pris en une masse cristalline qui paraissait formée de 1 de soufre et de 2 de phospore $= S P^2$.

Combinaison de l'iode et du phosphore.

Le phosphore et l'iode se combinent en diverses proportions et toujours avec dégagement de calorique et de lumière. La seule combinaison qui soit quelquefois employée est celle qui résulte de 1 de phosphore et de 8 d'iode.

IODURE DE PHOSHORE. — Il est rouge-orangé-brun; fusible à 100°; volatil. Mis en contact avec l'eau, il la décompose en donnant lieu à de l'acide iodhydrique, de l'acide phosphoreux et du phosphure d'hydrogène. Il est employé pour faire l'acide iodhydrique.

On l'obtient en fondant ensemble le phosphore et l'iode dans un petit tube de verre placé au-dessus de quelques charbons incandescents; seulement il faut choisir des matières bien sèches.

Combinaisons du chlore et du phosphore.

Le chlore et le phosphore se combinent ensemble, même à la température ordinaire, avec dégagement de calorique et de lumière; de cette combinaison résulte, selon les proportions de chlore, deux composés bien déterminés. Ils sont sans usages.

PROTO-CHLORURE DE PHOSPHORE. — Découvert par Gay-Lussac et Thénard, ce chlorure est liquide, incolore, transparent, plus pesant que l'eau, très fumant et très caustique, rougissant le tournesol sans rougir le papier bien sec; de là le nom d'acide *chloro-phosphoreux* qu'on a, à tort, proposé de lui donner; car on a vu qu'il ne rougissait la teinture de tournesol qu'après avoir décomposé l'eau et formé des acides

phosphoreux et chlorhydrique qui seuls ont de l'action sur la teinture.

On l'obtient en faisant arriver un courant de chlore bien sec sur des fragments de phosphore bien desséchés, jusqu'à ce que la liqueur qui se produit commence à se troubler. On laisse déposer du deuto-chlorure qui s'est formé, et l'on redistille le proto-chlorure. Il est formé de 3 at. de chlore et de 1 at. de phosphore = $P\,Ch^3$.

DEUTO-CHLORURE DE PHOSPHORE. — Découvert par Davy. Il est solide, d'un blanc de neige, très volatil, mais moins que le proto-chlorure. Sa vapeur rougit le papier de tournesol, même bien sec, d'où lui est venu le nom d'acide *chlorophosphorique* proposé par quelques chimistes.

Chauffé avec l'oxigène à travers un tube incandescent, il est décomposé en chlore et en acide phosphorique qui se forme.

L'eau le décompose instantanément avec chaleur et formation d'acide chlorhydrique et d'acide phosphorique. Si l'eau est en grande quantité et le chrorure en poudre, il se forme de plus une combinaison d'eau et de chlorure. (Dulong.)

Ce composé s'obtient de la même manière que le proto-chlorure, si ce n'est que l'on continue le courant de chlore jusqu'à ce que le phosphore soit converti en une masse blanche qui est le d uto-chlorure à l'état de pureté.

Il est formé, d'après M. Dulong, de 5 at. de chlore et 1 at. de phosphore = $P\,Ch^5$.

ART. IV. — DES COMBINAISONS DU SOUFRE.

Le soufre se combine à l'hydrogène, au carbone, au phosphore, au sélénium, au l'iode et au chlore. La première combinaison sera traitée plus tard ; les deux suivantes ayant été examinées, il ne nous reste plus qu'à parler des deux dernières, les seules qui méritent quelque attention.

Combinaison de l'iode et du soufre.

L'iode se combine facilement au soufre, et il en résulte un iodure rayonné et brillant comme celui d'antimoine. Il est très

peu stable. Exposé à une température un peu élevée, l'iode s'en sépare; on l'obtient en chauffant légèrement l'iode et le soufre dans un tube de verre.

On a proposé de l'employer en médecine; mais l'instabilité de ses éléments le rend d'un emploi peu sûr.

Combinaisons du chlore et du soufre.

Le chlore s'unit en 2 proportions avec le soufre; de là un proto-chlorure et un bi-chlorure. Ce dernier correspond à l'acide hypo-sulfureux. Ils sont inusités.

PROTO-CHLORURE DE SOUFRE.—Il est liquide, jaune, légèrement visqueux; il bout à 138°; sa densité = 1,687.

L'eau et l'alcool le décomposent en acide chlorhydrique et dépôt de soufre.

Il est composé de 1 at. de chlore et 1 at. de soufre = S Ch. On l'obtient en faisant arriver un courant de chlore au fond d'une éprouvette contenant de la fleur de soufre, jusqu'à ce qu'il n'y ait plus qu'un léger excès de soufre, et l'on distille pour le séparer d'un peu de soufre.

BI-CHLORURE DE SOUFRE.—Découvert par Tompson. Liquide, rouge-grenat foncé; très volatil à la température ordinaire; d'une odeur piquante et très désagréable, d'une saveur très forte. Il rougit la teinture de tournesol, ce qui lui a valu, par quelques chimistes, le nom d'acide *chloro-sulfurique*. Mais c'est à tort, parce que le changement de couleur n'est probablement dû qu'à la formation d'acide chlorhydrique ou sulfureux. Sa pesanteur spécifique = 1,620.

Il bout à 64°; à l'air, il répand des vapeurs très épaisses.

L'eau le décompose en se décomposant elle-même; de là résulte de l'acide chlorhydrique, de l'acide sulfureux et un peu d'acide sulfurique.

On obtient ce chlorure de la même manière que le précédent; mais alors il faut continuer le courant de chlore jusqu'à ce que le soufre ait disparu et que la liqueur ait pris une teinte rouge-brun foncé. On n'a plus qu'à le distiller pour le séparer d'un peu de protochlorure.

Il est formé de 2 atomes de chlore et de 1 atome de soufre = $S\,Ch^2$.

Art. V. — des combinaisons de l'iode.

L'iode forme des combinaisons avec l'hydrogène, le soufre, le chlore et l'azote. La première sera étudiée plus tard, la seconde l'a été, celles du chlore et de l'azote doivent ne nous occuper qu'un moment.

Combinaisons du chlore et de l'iode.

On connaît deux combinaisons de chlore et d'iode : le proto-chlorure et le perchlorure d'iode. On les obtient directement en projetant de l'iode dans un flacon plein de chlore ; les deux corps se combinent avec dégagement de chaleur. Le premier produit est liquide et constitue le proto-chlorure. Mais quand le chlore est en excès, on obtient un produit solide qui est le perchlorure d'iode.

PROTOCHLORURE D'IODE. — Liquide rouge-brun, plus pesant que l'eau ; ayant l'aspect et les propriétés physiques du brome. Il se dissout dans l'eau sans altération.

Sa composition n'est pas connue.

PERCHLORURE D'IODE.—Solide, cristallin, blanc-jaunâtre, très volatil, d'une odeur irritante ; il excite les larmes, et suffoque quand on le respire.

Quand on le dissout dans une petite quantité d'eau, il s'altère peu ; mais quand l'eau est en plus grande quantité, elle est décomposée, et le perchlorure se trouve converti en acide chlorhydrique et iodique. Il est composé, d'après Soubeiran, de 3 atomes de chlore et de 1 atome d'iode.

Ces chlorures sont sans usages.

Combinaisons de l'iode et de l'azote.

IODURE D'AZOTE. — L'iode et l'azote ne se combinent qu'en une seule proportion, et cette combinaison se fait entre 3 atomes d'iode et 1 atome d'azote, d'où la formule $Az\ I^3$.

L'affinité de l'iode pour l'azote est très faible, aussi ces deux corps ne s'unissent-ils qu'autant que l'azote est à l'état de gaz naissant. Pour l'obtenir, on met de l'iode en contact avec un excès d'ammoniaque liquide à la température ordinaire ; bientôt

il se forme un précipité noirâtre d'iodure d'azote. C'est que l'ammoniaque s'est décomposée en azote, qui s'est combiné avec l'iode pour former le produit; et en hydrogène, qui, combiné avec de l'iode, forme de l'acide iodhydrique lequel à son tour s'unit à de l'ammoniaque non décomposée. On recueille l'iodure sur un filtre et on le lave légèrement, autrement il se décomposerait spontanément.

Il est pulvérulent, noirâtre, et fulmine fortement; lorsqu'il est sec, la détonnation est spontanée, aussi faut-il de grandes précautions pour le toucher.

Art. VI. — des combinaisons du brome.

L'hydrogène, le silicium, le carbone, le phosphore, le soufre, l'iode et le chlore forment des combinaisons avec le brome; mais ces combinaisons sont si peu employées et sont du reste si peu étudiées, que nous les passerons sous silence.

Art. VII. — des combinaisons du chlore.

Nous avons étudié précédemment presque toutes les combinaisons que le chlore forme avec les métalloïdes; il ne nous reste plus qu'à parler de celles qu'il forme avec l'hydrogène et l'azote; nous ne traiterons ici que de la dernière, la première devant être étudiée avec les hydracides.

Combinaison du chlore et de l'azote.

CHLORURE D'AZOTE. — On ne connaît qu'une seule combinaison de chlore et d'azote; elle fut découverte en 1811 par M. Dulong.

Ce chlorure est liquide, comme oléagineux, d'une couleur fauve, d'une odeur très piquante et insupportable. Sa saveur n'est pas connue. Sa pesanteur spécifique est plus grande que celle de l'eau. Chauffé, il se volatilise en formant une vapeur suffoquante. Exposé à 30°, il détonne tout-à-coup avec violence en se décomposant. Le phosphore, le soufre et quelques métaux le décomposent.

On l'obtient en faisant passer un courant de chlore dans une dissolution de chlorhydrate d'ammoniaque. C'est un corps très dangereux à préparer.

Art. VIII. — des combinaisons de l'azote.

Toutes les combinaisons de l'azote avec les métalloïdes ont été étudiées, à l'exception de celle qui a lieu avec l'hydrogène. Cette combinaison constitue l'ammoniaque et nous en parlerons en un autre endroit.

CHAPITRE IV.

des oxides et acides non métalliques.

Des combinaisons de l'oxigène avec les métalloïdes. Oxides et acides métalloïdiques.

Dans ce chapitre nous traiterons de toutes les combinaisons de l'oxigène avec les métalloïdes. Aucun de ces composés ne possède de propriété basique, pendant, au contraire, que la plupart sont acides. On les connaît sous le nom d'*oxacides.*

Art. I. — des combinaisons de l'oxigène avec l'hydrogène.

Bien que l'oxigène et l'hydrogène se combinent en deux proportions pour former l'eau et le bi-oxide d'hydrogène, cependant nous ne traiterons ici que de l'eau, parce que le peroxide d'hydrogène possède des propriétés si remarquables, qu'elle mérite avec le persulfure d'hydrogène de faire le sujet d'un article à part.

10° de l'eau. (*Protoxide d'hydrogène*, etc.)

L'eau est liquide à la température ordinaire, transparente, incolore, inodore, insipide, élastique, capable de transmettre les sons et de mouiller les corps. Sa compressibilité, niée pendant

long-temps, a été mise en évidence par MM. Perkins, OErsted et Canton. Les expériences qu'ils ont faites à ce sujet prouvent, en même temps, qu'elle se comprime en raison des poids dont elle est chargée. Sa pesanteur spécifique est l'unité à laquelle on compare le poids des liquides et des solides. Un litre d'eau à + 4° pèse 1000 grammes.

L'eau conduit mal le fluide électrique ; c'est ce qui fait qu'on ajoute à l'eau qui sert de conducteur du fluide, dans la pile voltaïque, une certaine quantité de sel ou d'acide. Elle réfracte fortement la lumière. Soumise à l'action de la chaleur, l'eau s'échauffe et entre en ébullition à la température de 100° sous la pression ordinaire; l'augmentation ou la diminution de pression retarde ou avance son point d'ébullition; les sels qui ont de l'affinité pour l'eau le retardent également, pendant que quelques sels métalliques ou de verre l'avancent. L'eau se volatilise facilement et la vapeur qui en résulte occupe un volume 1700 fois plus considérable que celui qu'elle occupe à l'état liquide. Comme celle de tous les gaz, la tension de sa vapeur augmente avec sa température.

Exposée au froid, l'eau se condense jusqu'à + 4°; au contraire, elle se dilate jusqu'au terme de sa congélation qui a lieu à 0. Selon M. Mairan, pendant sa congélation, elle augmente d'un quatorzième de son volume. Voilà pourquoi la glace est plus légère que l'eau; il résulte de ce que nous venons de dire, que le plus grand degré de densité de ce liquide est à + 4°. Son point de congélation peut être retardé, tout aussi bien que son point d'ébullition, et cela par les mêmes substances salines. Blagden a vu que l'eau pure, placée dans un matras dont le col a été fermé à la lampe, ou recouverte d'une couche d'huile, pouvait recevoir un froid de — 5 à — 6 degrés sans se congeler, pourvu toutefois que l'eau ne soit point agitée. M. Gay-Lussac, en employant les mêmes moyens, et de l'eau pure et privée d'air, a pu l'amener jusqu'à — 12° sans la congeler. L'eau aérée et chargée de limon se congèle plus promptement.

L'oxigène se dissout en quantité d'autant plus grande, que la température est plus basse et la pression plus forte. A + 10°, pression ordinaire, elle en dissout plus de la 25e partie de son volume. L'air s'y dissout aussi, mais en moindre proportion, et l'on remarque que l'air y est plus riche en oxigène, ce qui tient uniquement à ce que l'azote est moins soluble que l'oxigène.

L'hydrogène ne se dissout qu'en petite quantité.

Parmi les métalloïdes il n'y a que l'azote, l'iode, le brome et le chlore qui se dissolvent dans l'eau. Le bore et le carbone ne la décomposent qu'à une température élevée, en donnant le premier de l'acide borique et de l'hydrogène, le deuxième de l'acide carbonique et du proto-carbure d'hydrogène. Cette expérience se fait en plaçant le corps dans un tube de porcelaine rougi où l'on fait arriver l'eau en vapeurs. Le charbon peut de plus absorber de l'eau et alors perdre les gaz qu'il contenait. L'iode chauffé avec elle la décompose, et forme de l'acide iodhydrique et de l'acide iodique; en continuant l'addition de l'iode il n'y a bientôt plus décomposition de l'eau, au contraire, par la concentration de l'eau les deux acides formés réagissent l'un sur l'autre pour reformer de l'eau et de l'iode. Le chlore dissous dans l'eau constitue le *chlore liquide*. Cette dissolution est chargée de une fois et demi son volume de chlore, à 20°, et sous la pression ordinaire; la chaleur ou la lumière solaire appliquée à cette dissolution détermine la décomposition de l'eau, la formation d'acide chlorhydrique, et la mise en liberté de l'oxigène, de plus la formation d'un peu d'acide chlorique par l'action de la lumière solaire.

Parmi les métaux, quelques uns décomposent l'eau, tantôt à la température ordinaire, tantôt à une température un peu plus élevée, d'autres fois à une température rouge. Aucun n'y est soluble.

La plupart des acides se dissolvent dans l'eau, en général ceux qui ont beaucoup de saveur y sont très solubles.

Les alliages agissent sur l'eau de la même manière que les métaux : ainsi ceux qui contiennent des métaux capables de la décomposer pourront tout aussi bien la décomposer. Quelques oxides métalliques se dissolvent dans l'eau, tels sont ceux de la première section, de mercure, etc.; la plupart, au contraire, y sont insolubles.

L'eau est formée de deux volumes d'hydrogène et un volume d'oxigène, ou deux atomes du premier et un atome du second = $H^2 O$.

L'eau se trouve très abondamment dans la nature, à l'état solide, à l'état liquide, ou à l'état de vapeurs. A l'état solide elle constitue la *glace*, la *grêle*, la *neige;* elle se trouve communément dans les pays froids, aux environs des pôles, là elle constitue ce qu'on appelle les *glaciers*, qui, venant à fondre par un temps plus chaud, donnent lieu à des rivières plus ou moins

considérables. A l'état liquide elle est infiniment plus abondante, elle constitue les rivières, les lacs, les mers, mais elle n'est jamais pure; elle contient plus ou moins de corps étrangers (sel marin, sels de chaux, quelquefois sels de fer, de magnésie, acide carbonique, sulfhydrique, etc.); quand l'eau contient une assez grande quantité de sel marin elle est dite *salée*, telles sont celles des mers et de quelques sources. Si la proportion des autres corps est assez forte pour agir sur l'économie animale, on lui donne le nom d'*eau minérale*. Quand, au contraire, elle a peu ou pas de saveur, et ne contient que très peu de sels, on l'appelle eau *douce* ou eau *potable*. Telles sont celles des rivières, des fontaines, etc. Enfin, à l'état de vapeurs elle se trouve en assez grande quantité dans l'atmosphère. (Voir l'article air atmosphérique pour le moyen de la démontrer.)

Il est inutile d'énumérer les nombreux usages de l'eau, tout le monde les connaît, mais il est important de connaître les propriétés qu'elle doit présenter pour être potable, d'abord elle doit être fraîche, vive, limpide, inodore et surtout aérée, ensuite elle doit dissoudre le savon sans former des grumeaux, et bien cuire les légumes. En effet, une eau qui formerait des grumeaux avec le savon, serait une eau riche en sulfate de chaux, alors par double décomposition il se formerait du sulfate de soude et du savon de chaux insoluble; également le sulfate de chaux empêche les légumes de cuire parce que, selon M. Braconnot, une substance particulière, la *légumine*, se combine au sulfate de chaux, et forme une combinaison insoluble qui les durcit considérablement Enfin, l'eau ne doit pas trop contenir de sulfate et d'hydro-chlorate, ce dont on s'assurera au moyen d'un sel de baryte et de nitrate d'argent.

Pour l'obtenir à l'état de pureté et privée d'air, on la distille, et l'on ne recueille le produit qu'après avoir laissé perdre les 4/100^{m} de la quantité employée; alors on continue l'opération jusqu'aux 3/4. Dans les premières parties se trouve souvent du carbonate d'ammoniaque, provenant des matières animalisées que contient l'eau; au contraire, à la fin, en continuant le feu, certains sels que contient l'eau, pourraient réagir les uns sur les autres, et former des produits volatils, dont serait chargée l'eau que l'on veut purifier.

ACIDE BORIQUE. (*Acide boracique; sel sédatif de Homberg.*) — Il est solide, blanc, inodore, rougissant faiblement la teinture de tournesol. Sa pesanteur spécifique = 1,803.

Soumis à une température élevée, il fond et donne lieu à un verre incolore et transparent. En même temps il perd son eau de combinaison. L'air et l'oxigène ne l'altèrent pas. L'eau à 100° n'en dissout que la 35me partie de son poids. Quoique l'acide borique soit un des acides les plus fixes, cependant il se volatilise dans l'eau bouillante, mais alors c'est la vapeur de l'eau qui détermine sa volatilisation. Il a été découvert par Homberg.

Il est formé de deux atomes de bore et de trois atomes d'oxigène, d'où $B^2 O^3$. Il existe, dans plusieurs lacs de Toscane, libre, et à l'état de combinaison avec la soude dans quelques lacs des Indes.

Pour l'obtenir, on fait dissoudre, à chaud, du borate de soude, et l'on y verse, pendant que la dissolution est encore chaude, de l'acide sulfurique qui s'empare de la soude, forme du sulfate de soude, et met l'acide borique en liberté, qui cristallise par le refroidissement de la liqueur.

Cet acide se reconnaît à ce que, dissous dans l'alcool, il communique à sa flamme une couleur verte.

On s'en sert pour analyser les pierres gemmes, et en médecine comme calmant et antispasmodique.

11° DE L'OXIDE DE CARBONE, DE L'ACIDE CARBONIQUE; DE L'OXIDE DE PHOSPHORE; DES ACIDES HYPO-PHOSPHORIQUE, PHOSPHORIQUE, etc.

ART. II. — COMBINAISONS DU CARBONE ET DE L'OXIGÈNE.

L'oxigène s'unit au carbone pour former cinq composés, savoir :

L'oxide de *carbone*, l'acide *carbonique*, l'acide *oxalique*, l'acide *croconique* et l'acide *mellitique*. Nous ne traiterons ici que des deux premières combinaisons.

OXIDE DE CARBONE. — Considéré par Priestley comme de l'hydrogène carboné, il a été étudié et distingué par Cruikshanks, et MM. Clément et Désormes, au commencement de ce siècle.

Ce corps est gazeux, incolore, insipide, sans action sur le tournesol, inflammable, éteignant les corps en combustion, et impropre à la respiration. L'air ou l'oxigène ne le transforment en acide carbonique qu'à l'aide de la chaleur, ou de l'étincelle électrique, en produisant une détonnation plus ou moins vive.

Le potassium et le sodium seuls le décomposent en devenant protoxides, et mettant à nu le carbone.

Le chlore et l'oxide de carbone, exposés au soleil, en quantités égales, se contractent de moitié et forment une nouvelle combinaison que John Davy avait nommée *phosgène*, nom que les chimistes français ont remplacé par celui de gaz *acide chloroxi-carbonique*. Il est incolore, d'une odeur analogue au chlorure d'azote, rougissant la teinture de tournesol, et éteignant les corps en combustion.

L'oxide de carbone est composé de deux atomes de carbone et un atome d'oxigène $= C^2 O$.

On l'obtient par divers procédés : 1° en faisant passer de l'acide carbonique sur du charbon exposé à une haute température dans un tube de fer. L'acide carbonique cède de son oxigène au charbon, et tous deux deviennent oxide de carbone.

2° En chauffant fortement de l'oxide de zinc, avec un excès de charbon, l'oxigène de l'oxide s'unit au charbon, forme l'oxide de carbone, tandis que le zinc libre se sublime.

ACIDE CARBONIQUE. (*Air fixe; acide méphitique, aérien, crayeux.*) — Découvert par Vanhelmont, l'acide carbonique fut étudié par beaucoup de chimistes, mais surtout par Lavoisier, qui, en 1776, nous en fit connaître la nature.

L'acide carbonique est incolore, d'une saveur légèrement aigre, d'une odeur un peu piquante; il ne rougit que très peu la teinture de tournesol, éteint les corps en combustion, asphyxie promptement les animaux, et pèse 1,52450. Il est plus pesant que l'air, aussi peut-on le transvaser comme un liquide. La plus forte chaleur ne le décompose pas. Refroidi et comprimé il peut être liquéfié. Cette propriété, déjà connue, a été étudiée plus à fond, dans ces derniers temps, par M. Thilorier. Pour l'obtenir en grande quantité, il se sert d'un appareil disposé de telle manière que la production du gaz a lieu dans un vase très épais, qui communique à un autre vase de même nature, et où vient se condenser l'acide carbonique. Celui-ci continuant à se dégager du premier vase, comprime dans le second le gaz qui se produit d'abord, d'où résulte un liquide formé par une haute pression. Ce liquide est plus dilatable que les autres gaz, puisque de 0° à 30°, sa dilatation est quatre fois plus grande que celle des autres gaz, entre les mêmes limites de température. La force élastique de sa vapeur est de 36 atmosphères à 0° et de 75 atmosphères à 30°. En s'échappant sous forme de jet, cet acide liquide devient rapi-

dement gazeux, aux dépens du calorique d'une portion d'acide carbonique, et absorbe tant de calorique que toujours une assez grande partie d'acide carbonique se solidifie.

L'acide solidifié est sous forme de flocons blancs, qui conservent cet état assez long-temps. La température qui produit la solidification de l'acide carbonique peut être évaluée à 100° au-dessous de 0°. L'acide solide possède la propriété de congéler promptement le mercure. Le potassium le décompose avec effervescence; le fer, le zinc, l'étain n'ont aucune action sur lui.

Exposé à une série d'étincelles électriques, il se décompose seulement en partie en oxigène et en oxide de carbone; l'hydrogène et le carbone à une forte température : le premier en eau et oxide de carbone, le second en oxide de carbone seulement. Le potassium et le sodium le décomposent entièrement, passent à l'état de protoxide, en mettant à nu le carbone, et dégageant du calorique, et même de la lumière avec le potassium.

L'eau dissout l'acide carbonique, d'autant mieux qu'on opère à une pression plus forte; on peut arriver par ce moyen à l'en charger de cinq ou six fois son volume.

L'acide carbonique est toujours facile à reconnaître au moyen de l'eau de chaux qui est instantanément précipitée en blanc.

Cet acide est formé d'un atome de carbone et d'un atome d'oxigène = CO.

Il est abondamment répandu dans la nature; gazeux, il se trouve dans l'air et dans plusieurs grottes; on le trouve en dissolution dans certaines eaux minérales; enfin il se rencontre très souvent à l'état de carbonate.

C'est toujours à l'état de dissolution qu'il est employé en médecine, et constituant les eaux gazeuses, Seltz, Spa, Pyrmont, etc.

On l'obtient en versant de l'acide chlorhydrique sur du marbre (carbonate de chaux). L'acide chlorhydrique s'unit à la chaux, forme de l'eau et du chlorure de calcium, tandis que l'acide carbonique se dégage avec effervescence.

ART. III. — DES COMBINAISONS DU PHOSPHORE ET DE L'OXIGÈNE.

On connaît cinq combinaisons de phosphore avec l'oxigène; ce sont l'oxide de *phosphore*, l'acide *hypo-phosphoreux*, l'acide *phosphoreux*, l'acide *phosphatique* et l'acide *phosphorique*.

OXIDE DE PHOSPHORE. — Long-temps on a cru qu'il existait deux oxides de phosphore, un blanc et un rouge; mais M. Pelouze a démontré que le prétendu oxide blanc n'était qu'une combinaison de phosphore et d'eau.

L'oxide de phosphore est rouge, insipide, inodore, insoluble dans l'eau, l'alcool, l'éther et les huiles; il n'est pas lumineux dans l'obscurité.

Chauffé dans un tube fermé, il se décompose en acide phosphorique et en phosphore; si le tube avait le contact de l'air, il ne se formerait que de l'acide phosphorique.

On l'obtient en faisant passer un courant d'oxigène à travers du phosphore fondu dans de l'eau chaude.

ACIDES HYPO-PHOSPHOREUX ET PHOSPHOREUX.— Ces deux acides ont pour caractères communs d'être décomposables par la chaleur, et de donner lieu à de l'hydrogène proto-phosphoré, à du phosphore et à de l'acide phosphorique. Dans ce cas l'eau est décomposée; son oxigène se porte sur l'acide qui, abandonnant du phosphore, passe à l'état d'acide phosphorique; en même temps, une partie du phosphore se volatilise, tandis que l'autre forme de l'hydrogène phosphoré par sa combinaison avec l'hydrogène de l'eau.

L'acide hypo-phosphoreux est liquide, incristallisable, très sapide; les sels qu'il forme sont tous très solubles.

Il serait formé, d'après M. Berzélius, de quatre atomes de phosphore et de trois atomes d'oxigène $= P^4 O^3$.

On l'obtient en traitant par l'eau le phosphure de baryum: l'eau se décompose, l'hydrogène s'unit à une partie du phosphore; il en résulte de l'hydrogène sesqui-phosphoré, tandis que l'oxigène se combine avec une autre partie de phosphore pour former l'acide hypo-phosphoreux, qui se combine à la baryte. On dissout l'hypo-phosphite de baryte, on le décompose par l'acide sulfurique qui s'empare de la baryte et laisse à nu l'acide hypo-phosphoreux en dissolution; on filtre et on concentre dans le vide.

L'acide phosphoreux est solide, cristallisé, blanc, inodore et très sapide; il forme avec les bases des sels qui sont en général moins solubles que les hypo-phosphites, quelques uns même ne le sont pas.

D'après M. Berzélius, il serait formé de deux atomes de phosphore, et de trois atomes d'oxigène $= P^2 O^3$.

On l'obtient en traitant par l'eau le proto-chlorure de phos-

phore; l'hydrogène de l'eau se combine au chlore, forme de l'acide chlorhydrique, son oxigène au phosphore pour constituer l'acide phosphoreux ; en évaporant convenablement, l'acide chlorhydrique se dégage et l'acide phosphoreux cristallise.

ACIDE HYPO-PHOSPHORIQUE OU PHOSPHATIQUE. — D'après M. Dulong, il paraît n'être qu'un composé d'acide phosphoreux et d'acide phosphorique dans la proportion d'un atome du premier, et de deux atomes du second, d'où la formule $P^6 O^{13}$. Ce qu'il y a de certain, c'est que cet acide, combiné avec les bases, donne lieu à des phosphates et à des phosphites.

Cet acide est toujours liquide, visqueux, incolore, très sapide, d'une odeur faible de phosphore, d'une densité plus grande que celle de l'eau. Exposé à la chaleur, il se décompose de la même manière que les deux acides précédents. L'eau le dissout en toutes proportions.

Cet acide est toujours un produit de l'art; pour l'obtenir on dispose plusieurs tubes de verre dans un entonnoir, qui repose sur un flacon Dans chaque tube on place un bâton de phosphore, et l'on recouvre le tout d'une cloche percée pour donner accès à l'air. Peu à peu le phosphore brûle et forme l'acide phosphatique qui, en raison d'un peu d'humidité que doit contenir l'air, coule dans l'entonnoir, et de là dans le flacon.

ACIDE PHOSPHORIQUE. — Découvert par Margraff, il fut examiné par plusieurs chimistes, mais surtout par MM. Berzélius, Dulong, Gay-Lussac et Graham.

Cet acide est solide, très acide, inodore, incolore, rougissant fortement la teinture de tournesol, d'une pesanteur spécifique plus grande que celle de l'eau; il peut cristalliser mais difficilement. Exposé à une chaleur rouge, il fond et donne lieu à un verre transparent; à une température très élevée, il se vaporise; exposé à l'action de la pile, il est décomposé en phosphore et en oxigène.

L'air et l'oxigène n'ont aucune action sur l'acide phosphorique si ce n'est quand ils sont humides; alors l'acide absorbe leur humidité.

Parmi les métalloïdes on ne connaît bien que l'action du carbone : à une température élevée, il décompose l'acide phosphorique en phosphore et en oxigène qui, combiné au charbon, constitue de l'acide carbonique ou de l'oxide de carbone.

L'eau dissout facilement l'acide phosphorique; cette dissolu-

tion est appelée *acide phosphorique liquide.* L'alcool le dissout également.

La composition de l'acide phosphorique a été long-temps un sujet de contestation. Les plus habiles chimistes ne pouvaient pas tomber d'accord, soit pour expliquer sa composition, soit pour expliquer les raisons qui faisaient que telle ou telle circonstance déterminait en lui des propriétés nouvelles. En effet, tantôt l'acide phosphorique précipitait le nitrate d'argent en jaune, tantôt il le précipitait en blanc; mais pour expliquer la cause inconnue de ce phénomène on créa le mot *isomérie*, et l'on disait que ces deux acides étaient *isomères*, c'est-à-dire que, possédant la même composition atomique, ils présentaient des propriétés différentes.

Des travaux furent entrepris par MM. Stromeyer, Clark, Enghellart et Gay-Lussac, et le résultat de ces travaux fut pour qu'on distinguât deux acides phosphoriques, l'un possédant une capacité de saturation plus grande que l'autre, et la propriété de précipiter le nitrate d'argent en jaune: c'est l'acide phosphorique; l'autre d'une capacité de saturation moindre, précipitant le sel d'argent en blanc : on donne à cet acide le nom d'acide paraphosphorique. Les connaissances en étaient là lorsque M. Graham, dans un fort beau Mémoire, vint jeter un jour tout nouveau sur cette question, et faire connaître quatre modifications de l'acide phosphorique, en même temps qu'il fit voir que les modifications étaient influencées par la présence d'une plus ou moins grande quantité d'eau, ou de base.

Selon M. Graham, quand on brûle du phosphore dans de l'oxigène sec, on obtient de l'acide phosphorique anhydre P^2O^5 Cet acide dissous dans l'eau s'hydrate immédiatement et forme un composé contenant un atome d'eau $= P^2O^5 + H^2O$. Cet acide possède la propriété de précipiter l'albumine en si petite quantité qu'il devient un excellent réactif pour déceler la présence de ce corps. Si l'on abandonne la dissolution, au bout de quelque temps l'acide a absorbé trois atomes d'eau et est devenu $P^2O^5 + H^6O^3$. C'est là l'acide phosphorique ordinaire, qui, au lieu de précipiter l'albumine, la dissout quand elle est coagulée. Cet acide, ou ses sels, précipitent le nitrate d'argent en jaune. Enfin, M. Graham a découvert un autre acide qui ne précipite pas l'albumine, mais qui précipite le nitrate d'argent en blanc et qui est représenté par $P^2O^5 + H^4O^2$.

Maintenant, quand l'on chauffe au rouge l'acide $P^2O^5 +$

$H^6 O^3$, il perd un atome d'eau et devient $P^2 O^5 + H^4 O^2$. Si on le chauffe avec deux atomes de base, l'eau se dégage. Quand au lieu de deux atomes de base on ne le chauffe qu'avec un atome de base, il perd encore toute son eau, se combine avec la base et constitue alors l'acide $P^2 O^5 + H^2 O$.

On voit, d'après ce que nous venons de dire, qu'il existe quatre modifications de l'acide phosphorique.

$P^2 O^5$	acide phosphorique anhydre.
$P^2 O^5 + H^2 O$, ou $R O$ (1)	acide méta-phosphorique.
$P^2 O^5 + 2 H^2 O$, ou $2 R O$	acide pyro-phosphorique, ou para-phosphorique.
$P^2 O^5 + 3 H^2 O$, ou $3 R O$	acide phosphorique ordinaire.

De toutes ces modifications, il n'y a que l'acide phosphorique très hydraté qui soit employé. Pour l'obtenir, on brûle à l'air du phosphore, et l'acide qui en résulte, mis quelque temps en contact avec l'eau, devient acide phosphorique ordinaire. Le plus souvent on obtient cet acide en traitant le phosphore par l'acide nitrique ; l'oxigène de l'acide acidifie le phosphore pendant qu'il se dégage de l'azote et du bi-oxide d'azote. On peut encore décomposer du phosphate d'ammoniaque par le feu : dans ce cas c'est l'acide phosphorique anhydre ; mais l'eau le transforme bientôt en acide phosphorique ordinaire. Enfin, on peut l'obtenir en décomposant le phosphate de baryte par l'acide sulfurique.

Cet acide est peu employé, quelquefois seulement dans l'analyse des pierres gemmes, et en médecine pour faire des limonades.

ART. IV. — DES COMBINAISONS DU SOUFRE AVEC L'OXIGÈNE.

12° DES ACIDES SULFUREUX, SULFURIQUE, etc.

Les combinaisons du soufre et de l'oxigène sont au nombre de quatre, ce sont : les acides hypo-sulfureux, sulfureux, hypo-sulfurique et sulfurique.

ACIDE HYPO-SULFUREUX. — Il n'existe qu'en combinaison avec les bases; aussitôt que l'on cherche à l'obtenir, il se décompose en soufre et en acide sulfureux.

(1) R O est employé là pour désigner un oxide quelconque.

Il est formé de 1 atome de soufre et 1 atome d'oxigène = SO.

ACIDE SULFUREUX.—Distingué par Sthal, c'est un gaz invisible, d'une saveur forte et désagréable, d'une odeur piquante *sui generis*, qui excite la toux, resserre la poitrine et suffoque les animaux qui le respirent. Il rougit d'abord la teinture de tournesol, puis la jaunit. Sa pesanteur spécifique, d'après M. Thénard, = 2,234. La plus forte chaleur ne le décompose pas, le froid le liquéfie facilement; il suffit, pour cela, du froid que produit un mélange de deux parties de glace et d'une de sel commun; alors il est incolore, transparent, très volatil et bouillant à — 10°. En se volatilisant il produit un froid tel qu'il peut solidifier le mercure, liquéfier le chlore, l'ammoniaque, le cyanogène; celui-ci même finit par se solidifier. L'oxigène n'a aucune action sur lui, soit à froid, soit à chaud.

L'hydrogène et le carbone décomposent cet acide à une température élevée; dans le premier cas il en résulte de l'eau et du soufre, et de plus de l'hydrogène sulfuré si l'hydrogène est en excès; dans le second il y a dépôt de soufre et formation d'acide carbonique ou d'oxide de carbone, et peut-être un peu de sulfure de carbone; le chlore liquide le transforme en acide sulfurique parce que, s'emparant de l'hydrogène de l'eau, l'oxigène de celle-ci se combine à l'acide sulfureux.

L'eau dissout 37 fois son volume de gaz sulfureux à la température de 20° et à la pression de 0 m. 76. De plus, M. Larive a observé que l'eau pouvait former un hydrate cristallin dans lequel l'eau y entrait pour 4 fois le poids de l'acide sulfureux. La dissolution constitue ce que l'on nomme *acide sulfureux liquide*. L'acide sulfureux décompose tout-à-coup l'acide sulfhydrique, et il en résulte de l'eau et du soufre qui se dépose.

Le potassium et le sodium décomposent ce gaz à froid; l'action est lente, mais par une légère élévation de température la décomposition se fait beaucoup plus vite; quelques autres métaux sans aucun doute doivent aussi, à chaud, en opérer la décomposition.

Selon M. Berzélius, l'acide sulfureux serait formé de

1 at. de soufre et de 2 at. d'oxigène, donc = SO^2.

Cet acide ne se trouve qu'aux environs des volcans. Pour l'obtenir on traite à chaud l'acide sulfurique par du mercure; l'acide est décomposé en oxigène qui forme avec le mercure un oxide qui se combine avec de l'acide sulfurique et forme du

sulfate de mercure, et en acide sulfureux qui se dégage. C'est cet acide qui se produit quand on brûle le soufre à l'air. On l'emploie pour décolorer les tissus, blanchir la soie, la laine, etc.; et en médecine pour les maladies de la peau.

ACIDE HYPO-SULFURIQUE. — Découvert par MM. Gay-Lussac et Walter. Il est liquide, incolore, inodore, susceptible de se décomposer, par la chaleur, en acides sulfureux et sulfurique. Il ne peut exister sans eau, car si on le concentre trop dans le vide, il se décompose également comme par la chaleur.

Il est composé de 2 atomes de soufre et de 5 atomes d'oxigène $= S^2 O^5$.

On l'obtient en faisant passer un courant d'acide sulfureux à travers du peroxide de manganèse, tenu en suspension dans l'eau. L'acide sulfureux s'empare d'une portion d'oxigène de l'oxide et forme de l'acide sulfurique et hypo-sulfurique qui se combinent à l'oxide ramené au premier degré d'oxidation; on décompose le sel dissous par le baryte, qui précipite l'acide sulfurique et l'oxide de manganèse et forme de l'hypo-sulfate de baryte soluble; si la baryte était en excès, on l'enlèverait par un courant d'acide carbonique. Enfin on décompose l'hypo-sulfate de baryte par l'acide sulfurique qui s'empare de la baryte et met à nu l'acide hypo-sulfurique.

ACIDE SULFURIQUE. — Découvert par Bazile Valentin, à la fin du xve siècle. Il peut se présenter sous deux états : dans l'un il est solide, anhydre; dans l'autre il est liquide et hydraté.

ACIDE SULFURIQUE SEC OU ANHYDRE. — Cet acide, au-dessous de 25°, est solide, blanc, opaque, se fondant à 25° et formant alors un liquide qui réfracte fortement la lumière et qui, refroidi lentement, se prend en houppes soyeuses. Quelques degrés au-dessus de 25° suffisent pour le volatiliser. Il est très caustique, rougit fortement la teinture de tournesol; sa pesanteur spécifique = 1,57. Il a beaucoup d'affinité pour l'eau, aussi à l'air répand-il d'épaisses vapeurs dues à l'absorption de l'humidité. Mis en contact avec l'eau, il s'y combine en produisant beaucoup de chaleur. Réduit en vapeurs et traversant un tube de porcelaine rougi, il est décomposé en oxigène et en acide sulfureux. On obtient cet acide en chauffant doucement l'acide de Nordhausen, qui n'est autre chose qu'une dissolution d'acides sulfureux et sulfurique anhydre dans de l'acide sulfurique ordinaire.

ACIDE SULFURIQUE HYDRATÉ. — Cet acide est toujours liquide, blanc, inodore, d'une consistance oléagineuse, rougisant le tournesol très fortement, et d'une densité de 1,842. C'est un des plus violents caustiques; il désorganise sur-le-champ les matières animales et végétales que l'on met en contact avec lui ; aussi est-il un poison des plus énergiques.

Soumis à un froid de 10 à 12°, il se congèle et cristallise, à moins qu'il soit étendu d'eau, car alors sa congélation peut avoir lieu à 0°. Quand on le chauffe peu à peu il se dilate, bout et se vaporise sans décomposition. Cependant si l'on fait passer sa vapeur à travers un tube incandescent il se décompose tout comme l'acide sulfurique sec.

L'oxigène et l'air ne l'altèrent pas; seulement il s'empare de l'humidité qu'ils peuvent contenir. Il est vrai que l'air le noircit à la longue, mais ce n'est que parce que l'air contient des matières organiques; celles-ci se trouvent décomposées en eau qui se combine à l'acide et en carbone qui le colore.

L'hydrogène, le bore, le carbone, le soufre, le phosphore, ne le décomposent qu'à une température plus ou moins élevée; il en résulte toujours dans les deux derniers cas de l'acide sulfureux et de l'oxigène qui s'unit au métalloïde, c'est ce qui arrive encore dans les autres cas si le métalloïde n'est pas en assez grande quantité; dans le cas contraire, l'acide sulfureux peut lui-même être décomposé en oxigène qui se combine au métalloïde, et en soufre qui souvent peut contracter combinaison avec le corps décomposant.

L'acide sulfurique hydraté se combine à l'eau avec dégagement de beaucoup de chaleur et diminution de volume. La chaleur produite est telle qu'un thermomètre plongé dans un mélange de 4 parties d'acide et de 1 partie d'eau, s'élève à 105°; si au lieu d'eau on se sert de neige ou de glace dans les mêmes proportions, le thermomètre s'élèvera encore; mais si le mélange est fait avec les proportions inverses, le thermomètre descendra à — 17°. Quand l'acide est étendu d'eau, en le chauffant il abandonne un excès d'eau jusqu'à ce qu'il soit arrivé à n'en plus contenir qu'un atome; alors il se volatilise.

Les métaux le décomposent assez facilement, les uns à la température ordinaire, les autres à l'aide de la chaleur; il en résulte des sulfates et de l'acide sulfureux qui se dégage. Le potassium, le sodium, le zinc, le fer, le manganèse, sont les seuls qui le décomposent à froid. L'analyse de cet acide a montré qu'il était

formé de 1 atome de soufre et de 3 atomes d'oxigène = SO^3 pour l'acide anhydre; mais comme l'acide liquide le plus concentré contient 1 atome d'eau, sa formule devient SO^3, H^2O.

On trouve, dit-on, l'acide sulfurique libre dans certaines grottes aux environs des volcans, mais c'est surtout combiné aux bases qu'on le rencontre plus communément. On le prépare de plusieurs manières. Anciennement on le préparait, et on le prépare encore ainsi à Nordhausen, en distillant du sulfate de fer calciné. Dans ce cas, en même temps que l'acide sulfurique distille, il passe dans le récipient un peu d'acide sulfureux et d'acide anhydre. Dans les laboratoires on l'obtient comme il suit : on prend un grand ballon à robinet, on y fait le vide, et, au moyen d'une cloche graduée, on y fait arriver 30 décilitres de gaz sulfureux, puis 15 décilitres de gaz oxigène et enfin 5 décilitres de bi-oxide d'azote; alors on ferme le ballon, et, si on l'examine, on voit que bien que les gaz étaient incolores, ils sont cependant devenus rouges : c'est qu'alors il n'y a eu de combinaison qu'entre le bi-oxide d'azote et l'oxigène; de là est résulté de l'acide hypo-azotique; jusque là point d'acide sulfurique ne s'est formé. Si l'on rouvre le ballon pour y verser très peu d'eau, aussitôt l'on voit l'intérieur du ballon se décolorer et sur ses parois se déposer des cristaux formés, selon M. Gaultier de Claubry, de

5 atomes d'acide sulfurique sec,
4 atomes d'eau,
2 atomes d'acide azoteux.

Suivant M. William Henry, il ne contiendrait que 1 atome d'acide azoteux et 5 atomes d'eau.

Si dans le ballon on ajoute une nouvelle quantité d'eau, les cristaux se décomposent et l'atmosphère du ballon rougit s'il y a encore de l'oxigène. C'est qu'alors l'eau s'empare de l'acide sulfurique, et comme l'acide azoteux hors de combinaison ne peut exister, il se décompose en acide hypo-azotique et en bi-oxide d'azote, qui, se recombinant avec de l'oxigène, reforme de l'acide hypo-azotique qui colore le ballon en rouge. On conçoit dès lors, qu'avec de nouvelles quantités d'acide sulfureux, d'oxigène et d'eau, on puisse indéfiniment faire de l'acide sulfurique, puisque le bi-oxide d'azote se dégage toujours. Remarquons cependant qu'il se forme toujours un peu d'acide nitrique qui provient de l'action de l'eau sur l'acide hypo-azotique.

Dans les arts on remplace le ballon par une chambre de plomb, on y fait arriver l'acide sulfureux et l'oxide d'azote qui proviennent de la combustion de 8 parties de soufre et de 1 de nitre; la plus grande partie du soufre devient acide sulfureux aux dépens de l'oxigène de l'air, tandis que l'autre partie, se combinant à l'oxigène de l'acide nitrique qui devient bi-oxide d'azote, passe à l'état d'acide sulfurique qui s'unit à la potasse du nitre. Le bi-oxide d'azote et l'acide sulfureux, trouvant dans la chambre de l'air et de l'humidité, réagissent l'un sur l'autre de la même manière que dans le ballon et forment des cristaux qui se dissolvent dans l'eau que contient le sol de la chambre, sol qui est légèrement incliné pour l'écoulement de l'acide sulfurique. On le retire et on le concentre dans des chaudières de plomb. Cet acide n'est pas pur, il contient un peu d'acide nitrique et de sulfate de plomb, mais en le distillant on peut l'obtenir très pur.

Les chimistes l'emploient souvent comme réactif. Il sert pour faire presque tous les acides, pour dissoudre l'indigo. En médecine on en fait des limonades, etc.; combiné avec l'alcool, il forme l'*eau de Rabel*.

ART. VI. — DES COMBINAISONS DE L'IODE ET DE L'OXIGÈNE.

L'iode en se combinant avec l'oxigène forme des composés sur le nombre desquels on n'est pas entièrement d'accord. M. Sementini admet un oxide d'iode et un acide iodeux, ce dernier acide est également admis par M. Mitscherlich. Quant à l'acide hyperiodique, il a été découvert récemment par M. Magnus. L'acide iodique a été beaucoup mieux étudié.

ACIDE IODIQUE. — La découverte de cet acide est due à M. Gay-Lussac; il est solide, blanc, inodore, d'une saveur aigre et astringente, rougissant le tournesol qu'il détruit ensuite, plus pesant que l'acide sulfurique. La chaleur le décompose assez facilement en oxigène et en iode. Il brûle avec détonnation la plupart des métalloïdes. Les acides peu oxigénés le décomposent en passant à un degré plus avancé d'oxigénation; à l'air humide il tombe en déliquescence, il est donc très soluble dans l'eau. Il est formé de 2 atomes d'iode et de 5 atomes d'oxigène $= I^2 O^5$.

On peut l'obtenir en traitant l'iode par un mélange d'acide azotique et d'acide hypo-azotique : ces acides sont décomposés, leur oxigène se combine à l'iode, et du deutoxide d'azote se dégage; pendant la réaction on aperçoit l'acide iodique se

déposer peu à peu. On le recueille, on le dissout dans l'eau pure, puis on y ajoute de l'acide nitrique concentré qui, s'emparant de l'eau, précipite l'acide à l'état de pureté.

ACIDE HYPERIODIQUE. — Correspondant à l'acide perchlorique; il est formé comme lui de 2 atomes d'iode et de 7 atomes d'oxigène $= I^2 O^7$.

Cet acide ne prend naissance que de la manière suivante : on dissout de l'iodate de potasse, on y ajoute de la potasse caustique et on y fait arriver un courant de chlore; celui-ci, pour former du chlorure de potassium, chasse l'oxigène de la potasse, lequel se combine avec l'iodate et constitue l'hyperiodate de potasse qui se précipite en petits cristaux.

Mais pour obtenir cet acide il faut transformer cet hyperiodate en hyperiodate neutre d'argent. Pour cela on mêle une dissolution d'hyperiodate de potasse avec une dissolution de nitrate d'argent, et aussitôt il se fait un précipité d'hyperiodate d'argent avec excès d'argent; en versant sur le précipité de l'acide nitrique faible, celui-ci dissout l'excès d'oxide et laisse à l'état neutre l'hyperiodate d'argent.

Enfin on n'a plus qu'à traiter ce sel d'argent par l'eau qui le décompose en acide hyperiodique libre et en hyperiodate basique insoluble que l'on sépare. On évapore la dissolution d'acide, et, par le refroidissement, les cristaux se déposent.

Cet acide n'est pas déliquescent, la chaleur le décompose en oxigène et iode; l'acide chlorhydrique le décompose en ne le faisant passer qu'à l'état d'acide iodique.

ACIDE BROMIQUE. — Cet acide est encore trop peu étudié et trop peu employé pour que nous nous y arrêtions.

ART. VII. — DES COMBINAISONS DU CHLORE AVEC L'OXIGÈNE.

L'oxigène et le chlore, par leur combinaison, donnent lieu à quatre composés connus : ce sont l'acide hypo-chloreux, le deutoxide de chlore, l'acide chlorique et l'acide hyperchlorique. Il n'y a pas long-temps que l'on admettait un protoxide de chlore; mais les réactions qu'il offrait avec l'eau, avec le proto-chlorure de mercure, et surtout la contraction de ses éléments, firent élever des doutes sur son existence réelle. MM. Davy et Soubeiran admirent que ce n'était qu'un mélange de chlore et de deutoxide de chlore. Depuis un travail de M. Balard sur l'acide hypo-chloreux, dans lequel il prouve que cet acide possède la

même composition que celle qu'on attribuait à ce prétendu protoxide de chlore, les chimistes n'admettent plus son existence.

ACIDE HYPO-CHLOREUX. — On a cru long-temps que l'acide qui se formait lorsque l'on fait passer un courant de chlore dans une dissolution de potasse ou de soude, était le deutoxide de chlore; M. Soubeiran avait admis que c'était un acide particulier, formé de 2 atomes de chlore pour 3 atomes d'oxigène. Mais dans ces derniers temps M. Balard a démontré que l'acide qu'il a pu isoler était bien différent par sa composition de celui qu'admettait M. Soubeiran, puisqu'il correspond entièrement à l'acide hypo-sulfureux et qu'il est formé de 2 atomes de chlorure et de 1 atome d'oxigène.

L'acide hypo-chloreux est un gaz d'un jaune un peu plus foncé que le chlore, d'une odeur vive et pénétrante, analogue à celle de ce dernier corps; exposé à la lumière solaire il se décompose sans détonnation; une lumière diffuse ne l'altère pas. Soumis à une chaleur un peu élevée, il détonne fortement en produisant une vive lumière. Presque tous les métalloïdes le décomposent, l'hydrogène à chaud, le carbone à froid et avec détonnation; il en est de même du soufre, du phosphore, de l'arsenic; seulement le chlore se combine avec le métalloïde pour former un chlorure, pendant que cela n'a pas lieu avec le carbone. L'iode et le brome le décomposent aussi, mais lentement. Presque tous les métaux le décomposent, les uns avec détonnation, les autres sans détonnation; mais toujours il se forme un chlorure et un oxide.

L'eau dissout abondamment cet acide. Cette dissolution concentrée ne peut que difficilement se conserver.

C'est l'un des oxigénants les plus énergiques que l'on connaisse, voilà pourquoi il agit si vivement sur les couleurs végétales; en effet son oxigène enlève le carbone à la matière colorante, ce qui produit la décoloration.

Pour l'obtenir on met dans un flacon du bi-oxide de mercure délayé dans de l'eau, avec du chlore gazeux. On agite, le gaz est absorbé, et donne lieu à du bi-oxido-chlorure de mercure insoluble et à de l'acide chloreux qui reste en dissolution. On n'a plus qu'à distiller dans le vide. Pour l'obtenir à l'état de gaz on le met en contact avec de l'azotate de chaux sec. Ce sel s'empare de l'eau et met le gaz à nu; il n'est employe qu'à l'état d'hypo-chlorite.

DEUTOXIDE DE CHLORURE. — Cet oxide, qui est gazeux,

a été découvert par Davy, puis étudié par M. Frédéric Stadion. On a cru long-temps que c'était lui qui se trouvait combiné aux bases dans les chlorures d'oxides, de là est venu le nom d'*acide chloreux*.

Ce gaz est jaune, son odeur est aromatique et différente de celle du chlore ; il détruit la teinture de tournesol sans la rougir; sa densité = 2,3155. Il peut être liquéfié comme plusieurs autres gaz. Exposé à la chaleur de l'eau bouillante, il détonne et se transforme en chlore et en oxigène; l'eau le dissout facilement. Il ne peut se combiner aux gaz sans décomposition, avec la potasse il en résulte toujours un hypo-chlorite, un chlorate et un chlorure ; il est composé d'un atome de chlore et de deux atomes d'oxigène = $Ch. O^2$. On peut l'obtenir en traitant du chlorate de potasse fondu, par de l'acide sulfurique étendu ; on chauffe légèrement et le gaz se dégage; l'acide sulfurique met l'acide chlorique à nu, qui se décompose en deutoxide de chlore et en oxigène ; celui-ci se combine avec une partie de l'acide chlorique et de la potasse pour former de l'hyperchlorate de potasse ; il est sans usages.

ACIDE CHLORIQUE. — C'est M. Berthollet qui a découvert cet acide, mais en combinaison avec les bases, et c'est M. Gay-Lussac qui l'a isolé le premier.

Cet acide est liquide, incolore, inodore, d'une saveur très acide ; il rougit d'abord le tournesol, puis finit par le décolorer. Il peut être concentré sans décomposition ; mais, si on essayait de le distiller, il se transformerait en chlore et en acide hyperchlorique. Il s'unit très bien aux bases et forme des sels, dont les propriétés sont bien remarquables.

Si on le concentre suffisamment pour qu'il prenne une teinte jaunâtre, il possède alors la propriété de décomposer l'alcool, en lui enlevant de l'hydrogène et le transformant en acide acétique ; il agit de la même manière sur l'éther; versé sur du papier brouillard sec, il l'enflamme aussitôt.

Il est formé de deux atomes de chlore et de cinq atomes d'oxigène = $Ch.^2 O^5$. On l'obtient ordinairement en dissolvant le chlorate de baryte dans l'eau et le décomposant par l'acide sulfurique; celui-ci s'empare de la baryte et met à nu l'acide que l'on sépare du précipité et que l'on concentre par une douce chaleur.

ACIDE HYPERCHLORIQUE. (*Acide chlorique oxigéné.*) — C'est au comte Stadion qu'est due la découverte de cet acide ;

il est liquide, incolore, inodore, rougissant le tournesol sans le détruire. Exposé à une douce chaleur, il perd l'excès d'eau qu'il peut contenir et se volatilise, sans décomposition, à 140°; il n'est décomposé ni par l'acide chlorhydrique, ni par l'acide sulfureux, ce qui le distingue de l'acide chlorique; il ne trouble point la dissolution d'azotate d'argent et se combine très bien aux bases. Cet acide est un excellent réactif pour distinguer la potasse de la soude; avec la première il forme un sel très peu soluble, le contraire a lieu avec la seconde. Il contient sept atomes d'oxigène pour deux atomes de chlore, donc : $Ch^2\ O7$. On l'obtient en chauffant, dans une cornue, l'hyperchlorate de potasse avec de l'acide sulfurique. Cet acide s'empare de la potasse, forme du sulfate de potasse fixe, et met à nu l'acide hyperchlorique qui se volatilise et vient se rendre dans un récipient.

En concentrant cet acide jusqu'à ce qu'il répande des vapeurs blanches, puis le distillant avec quatre à cinq fois son volume d'acide sulfurique concentré, on peut l'obtenir sous forme de longs cristaux qui fondent à 45°, et attirent fortement l'humidité de l'air en répandant d'épaisses vapeurs; lorsqu'on le verse dans l'eau, après l'avoir fondu, il produit, en tombant, un bruit semblable à celui qui résulte de l'immersion d'un fer rouge.

ART. VIII. — DES COMBINAISONS DE L'AZOTE ET DE L'OXIGÈNE.

13° DES OXIDES D'AZOTE, DES ACIDES AZOTEUX, AZOTIQUE, etc.

Quoique l'azote ait fort peu d'affinité pour l'oxigène, on connaît cependant cinq combinaisons de ces deux corps, savoir : le protoxide d'azote, le bi-oxide d'azote, l'acide azoteux, l'acide hypo-azotique et l'acide azotique. Parmi ces composés le bi-oxide d'azote, l'acide hypo-azotique et l'acide azotique méritent plus particulièrement notre attention.

PROTOXIDE D'AZOTE. (*Oxide d'azote*, *oxide nitreux*, *gaz nitreux déphlogistiqué*, *oxidule d'azote*, *gaz hilariant.*) — Découvert par Priestley, ce gaz est incolore, inodore, d'une saveur un peu sucrée, d'une densité = 1,5269. Comprimé et en même temps refroidi, il se liquéfie. Ce gaz entretient très bien la combustion, et allume les bougies qui présentent quelques points en ignition.

Exposé à une très haute température, il se transforme en azote et en acide hypo-azotique. L'oxigène et l'air ne lui font rien éprouver. Presque tous les métalloïdes le décomposent en lui enlevant son oxigène. Il est un peu soluble dans l'eau, celle-ci en dissout la moitié de son volume. Certaines personnes qui ont respiré ce gaz ont éprouvé un sentiment de gaieté extraordinaire et un rire insolite; de là son nom de *gaz hilariant;* mais d'autres, au contraire, n'ont éprouvé que de l'ivresse, des céphalalgies, des syncopes, suivies même d'asphyxie. Ce gaz est composé de deux atomes d'azote et d'un atome d'oxigène $= Az^2. O$.

C'est en chauffant doucement l'azotate d'ammoniaque que l'on se procure ce gaz : en effet, l'hydrogène de l'ammoniaque se combine à une grande partie de l'oxigène de l'acide, pendant que l'azote de l'ammoniaque, ainsi que celui de l'acide combiné à une certaine quantité d'oxigène constituent le gaz protoxide d'azote; il n'est pas employé.

BI-OXIDE D'AZOTE. (*Gaz nitreux*, *oxide nitrique*, *oxide d'azote.*) — Ce gaz a été découvert par Hales, et étudié par Priestley, Davy et M. Gay-Lussac; il est incolore, sans action sur le tournesol; son odeur et sa saveur ne peuvent nous être connus, car aussitôt qu'il a le contact de l'air, il passe à l'état d'acide hypo-azotique. Il éteint les corps en combustion et asphixie les animaux qui le respirent. Sa pesanteur spécifique $= 1,0390$. Exposé, dans un tube, à l'action du feu, il se décompose comme le protoxide d'azote. Il est décomposé par la plupart des métalloïdes. L'eau en dissout la vingtième partie de son volume; il est composé de deux atomes d'azote et de deux atomes d'oxigène $= Az^2 O^2$. Il ne se trouve point dans la nature. On l'obtient en mettant en contact de la tournure de cuivre ou du mercure, avec de l'acide azotique; celui-ci, en perdant de son oxigène qui oxide les métaux, devient bi-oxide d'azote qui se dégage, pendant que l'oxide formé se combine à une partie d'acide azotique.

ACIDE AZOTEUX. — Selon M. Gay-Lussac, en mettant en contact une dissolution de potasse, avec du bi-oxide d'azote et un peu d'oxigène, il se forme un acide composé de 2 atomes d'azote et de trois atomes d'oxigène, c'est l'acide *azoteux.* Cet acide ne peut être isolé, car sa propriété est de se décomposer en bi-oxide d'azote et en acide hypo-azotique, ou azotique, quand on cherche à le séparer de ses combinaisons.

ACIDE HYPO-AZOTIQUE. (*Gaz acide nitreux.*) — On a cru, jusque dans ces derniers temps, que cet acide était

gazeux à toutes les températures : cependant à la température et la pression ordinaires il est liquide, d'une couleur qui varie avec la température; ainsi il est jaune orangé de 15 à 28°, jaune fauve à 0°, presque incolore à — 10° et incolore à — 20°; il se prend en masse blanche au-dessous de — 40°. Il possède une saveur caustique, une odeur très forte, caractéristique, et une densité = à 1,451. Il rougit fortement le tournesol, tache la peau en jaune et la désorganise.

Soumis à la température de 28°, il bout et forme ce que l'on connaît sous le nom de *gaz rutilant*. Ce gaz se produit même à la température ordinaire, c'est cet acide qui se forme aussitôt que l'on met en contact de l'oxigène avec du bi-oxide d'azote. Il est irrespirable et fait éprouver à la poitrine un sentiment pénible de constriction.

L'oxigène et l'air ne lui font éprouver aucune altération, à moins qu'ils ne soient humides : alors il se produit un peu d'acide azotique. Presque tous les corps combustibles le décomposent en s'emparant d'une plus ou moins forte proportion de son oxigène.

L'eau et cet acide par leur contact présentent des phénomènes remarquables. Si on l'agite dans une grande quantité d'eau, il se transforme presque entièrement en bi-oxide d'azote qui se dégage et en acide azotique qui reste dissous dans la liqueur, uni à un peu d'acide hypo-azotique non décomposé. Si la quantité d'eau est faible, il se dégage peu de gaz et la liqueur devient verte foncée. Enfin, si l'on n'ajoute que successivement à l'eau diverses quantités d'acide, on voit que le dégagement du bi-oxide d'azote, produit par le même poids d'acide, décroît jusqu'à ce qu'il n'ait plus lieu, et cependant le liquide continue à absorber de l'acide hypo-azotique. Dans cette expérience l'eau se colore successivement en bleu verdâtre et en jaune orange. Ces variations de couleurs sont analogues à celles qui se produisent quand on fait passer un courant de bi-oxide d'azote dans de l'acide azotique plus ou moins concentré.

Mis en contact à la température ordinaire, avec l'acide sulfurique concentré, il est décomposé en acide azotique, retenant un peu d'acide hypo-azotique, et en acide azoteux qui se combine à l'acide sulfurique pour former des cristaux semblables à ceux dont nous avons parlé à l'article acide sulfurique.

En se dissolvant dans l'acide azotique, il le colore en jaune.

Chaque fois que l'on cherche à la combiner aux bases, il se décompose et forme avec elles des azotates et des azotites.

Il est composé de deux atomes d'azote et de quatre atomes d'oxigène $= Az^2.O^4$ ou $Az O^2$. Le meilleur moyen pour obtenir cet acide, consiste à chauffer dans une cornue une certaine quantité d'azotate de plomb sec, on fait arriver le gaz dans un petit récipient entouré de glace et de sel. Par la chaleur l'acide azotique de l'azotate se sépare, mais se décompose en oxigène et en acide hypo-azotique anhydre.

ACIDE AZOTIQUE. (*Acide nitrique, eau forte, esprit de nitre.*) — Cet acide fut découvert, par Raymond Lulle, vers l'année 1225, en distillant de l'argile avec du sel de nitre. Il a été depuis étudié par divers chimistes; aussi ses propriétés sont-elles parfaitement connues.

L'acide azotique le plus concentré est liquide, blanc, odorant, très acide et corrosif. Il tache la peau en jaune et la désorganise sur-le-champ, ce qui en fait un des plus violents poisons. Il rougit très fortement le tournesol; sa pesanteur spécifique $= 1,554$, ou 1,513, d'après M. Thénard.

Soumis à une température de 86°, il entre en ébullition, se volatilise et se condense, après s'être coloré par un peu d'acide hypo-azotique provenant de la décomposition d'une certaine quantité d'acide azotique. A une chaleur rouge, il se décompose totalement et se transforme en acide hypo-azotique et en oxigène. Exposé à un froid de 50°, il se solidifie et prend une consistance de beurre. Les rayons solaires le décomposent, quand l'acide offre un certain degré de concentration: alors il se dégage de l'oxigène et il se produit de l'acide hypo-azotique qui colore en brun l'acide azotique. Selon M. Gay-Lussac, celui dont la densité n'est que de 1,32 ne se colore plus. Cet acide n'a aucune action sur l'air et l'oxigène secs; si ces gaz sont humides, il y répand seulement des vapeurs dues à la combinaison de la vapeur de l'acide avec l'eau.

Le plus grand nombre de corps combustibles le décomposent en lui enlevant de son oxigène, d'autant plus qu'ils ont plus de propension à s'y combiner, que la quantité est plus grande et que la température est plus élevée; voilà pourquoi on obtient tantôt de l'acide hypo-azotique, tantôt du bi-oxide ou du protoxide d'azote, ou bien encore de l'azote libre. L'eau dissout toute espèce de proportions d'acide azotique, en donnant lieu à un dégagement de calorique. Cette dissolution présente les mêmes

propriétés que l'acide concentré, seulement elle agit avec moins d'intensité.

L'acide azotique ne pouvant exister sans eau, aussitôt qu'on le mêle avec un corps ayant pour elle une grande affinité, il en résulte un dégagement d'acide hypo-azotique et d'oxigène dus à la décomposition de l'acide. Telle est la manière d'agir de l'acide sulfurique concentré et probablement celle de l'acide phosphorique. Le bi-oxide d'azote se dissout dans l'acide azotique et le colore en vert ou en jaune si l'acide n'est pas concentré et en brun dans le cas contraire; si l'on chauffe la dissolution, il ne se dégage que de l'acide hypo-azotique, parce que le bi-oxide, en s'emparant de l'oxigène d'une portion de l'acide azotique, l'a fait passer à l'état d'acide hypo-azotique en le devenant lui-même. Nous avons vu, à l'occasion de l'acide chlorhydrique, l'action que cet acide présente sur l'acide azotique pour former l'eau régale.

Cet acide résulte de la combinaison de deux atomes d'azote et de cinq atomes d'oxigène $=Az^2 O^5$; mais comme le plus concentré contient toujours un atome d'eau; sa formule devient $Az^2 O^3 + H^2 O$.

L'acide azotique n'existe dans la nature qu'en combinaison avec la magnésie, la chaux, la soude et la potasse.

On le prépare en distillant dans une cornue six parties d'azotate de potasse avec une partie d'acide sulfurique du commerce, ou mieux étendu d'un peu d'eau. Dans le cas où l'acide est concentré, on voit apparaître au commencement de l'opération des vapeurs rutilantes dues à ce que le peu d'acide azotique mis à nu est privé d'eau par l'excès d'acide sulfurique; plus tard, l'acide passe incolore, on le recueille à part. Enfin, vers la fin de l'opération, les vapeurs rutilantes reparaissent, parce que le mélange ne contient plus assez d'eau pour fournir, à l'acide nitrique qui se dégage, l'atome d'eau nécessaire à sa constitution. Dans le cas où l'acide est étendu, il arrive qu'il y a moins de vapeurs rutilantes, pourvu, toutefois, ce qui est rare, que le sel de nitre ne contienne pas de chlorure, car alors l'acide chlorhydrique mis à nu, en réagissant sur l'acide nitrique, produirait le même phénomène que dans la préparation de l'eau régale. On le purifie sur un petit excès d'azotate d'argent qui s'empare du chlore et de l'acide sulfurique que contient le plus souvent l'acide azotique.

APPENDICE.

Dans cet appendice nous réunissons des combinaisons qui, bien qu'elles diffèrent totalement sous le rapport de leur composition, se ressemblent tellement par l'ensemble de leurs propriétés que l'histoire de l'une jette le plus grand jour sur celle de l'autre. Il paraît que dans ces composés les éléments sont retenus et obéissent à une force particulière autre que l'affinité, puisque les corps qui opèrent leur décomposition ne contractent aucune combinaison nouvelle.

Les composés dont nous allons parler sont le bi-oxide d'hydrogène et le poly-sulfure d'hydrogène.

BI-OXIDE D'HYDROGENE. (*Eau oxigénée.*) — C'est à M. Thénard qu'est due la découverte du bi-oxide d'hydrogène dont les propriétés sont si remarquables.

Ce composé est liquide, incolore et inodore. Il détruit la couleur du papier de curcuma; sa saveur est métallique, picotant la langue et épaississant la salive; il attaque la peau, l'altère et la détruit quand on l'y applique en couches assez épaisses; sa tension est plus faible que celle de l'eau, ce qui explique pourquoi on peut la concentrer dans le vide à côté d'un corps avide d'eau, comme l'acide sulfurique, etc.; sa densité = 1,452.

Exposé à la chaleur, il perd une partie de son oxigène et d'autant plus que la température est élevée. Le fluide électrique en dégage une plus grande quantité; le froid ne le congèle pas même quand il est = à — 30°.

Parmi les métalloïdes, le sélénium et le charbon seuls décomposent le bi-oxide d'hydrogène : le sélénium s'acidifie, et le charbon dégage de l'oxigène sans contracter de combinaison.

Tous les métaux, l'antimoine, le tellure, le fer et l'étain exceptés, décomposent l'eau oxigénée, et la ramènent à l'état d'eau ordinaire. Mais cette action ne devient bien manifeste que lorsqu'ils sont réduits en poudre. Quelques uns passent à l'état d'oxide; d'autres restent tels qu'ils ont été employés, dégagent néanmoins tout l'oxigène qui le constituait, et il ne reste plus que de l'eau.

Parmi les sulfures métalliques, il n'y a que celui d'argent et celui de mercure qui, mis en contact avec le bi-oxide d'hydrogène, ne l'aient pas décomposé. Tous les autres, au contraire, le décomposent, s'emparent d'une partie de son oxigène, et

passent à l'état de sulfate; mais cette manière d'agir n'est pas la même pour tous; car il en est dont l'action est violente, et d'autres, comme ceux de bismuth ou d'étain, dont l'action est très faible.

Les oxides métalliques tendent en général à le ramener à l'état d'eau. Quelques uns s'oxident davantage, d'autres ne s'altèrent pas; enfin, plusieurs sont susceptibles de réduction. La force décomposante des oxides est très variable; ainsi les uns chassent subitement l'oxigène de la liqueur avec une sorte d'explosion, dégagement de calorique et même de lumière. Parmi les oxides qui se suroxident, se trouvent ceux de *baryte*, de *strontiane*, de *chaux*, etc. Ceux qui ne s'altèrent pas sont : les peroxides de *manganèse*, de *cobalt*, de *fer;* le protoxide de plomb, etc. Ceux qui se réduisent sont les oxides d'*argent*, d'*or;* les *oxides de plomb*, autres que le protoxide, etc. Enfin, trois font explosion : ce sont l'oxide d'*argent*, les *peroxides de plomb* et de *manganèse* (1).

Les acides, au contraire, possèdent la propriété de donner à l'eau oxigénée plus de stabilité, à moins qu'ils ne soient trop faibles, ou qu'ils ne changent de nature : tel est l'*acide tartrique*, etc. ; alors les acides sont transformés en acide carbonique. Les acides sulfurique, phosphorique, chlorhydrique, arsénique, oxalique, etc., se trouvent dans le premier cas, c'est-à-dire qu'ils ajoutent de la fixité à l'eau oxigénée. M. Thénard pense que c'est en se combinant avec elle que les acides agissent ainsi.

Les sels ont une action sur l'eau oxigénée, plutôt semblable à leurs oxides qu'à leurs acides.

Parmi les matières végétales, il ne paraît y avoir que le tournesol qui décompose l'eau oxigénée, ce que l'on attribue à l'alcali qu'il contient. Il en est de même des matières animales isolées, si ce n'est la fibrine qui en opère la décomposition. Mais les matières animales organisées, les tissus organiques des animaux, opèrent toute la décomposition du bi-oxide d'hydrogène, à la manière des oxides métalliques et des métaux, et cela sans absorber d'oxigène ni céder rien de leurs principes.

Les diverses analyses prouvent que l'eau oxigénée est un bi-oxide d'hydrogène, par conséquent formé de deux atomes d'hydrogène et de deux atomes d'oxigène; d'où la formule $H^2 O^2$ ou HO.

(1) Le platine, l'osmium et l'argent agissent de la même manière.

Pour préparer l'eau oxigénée, on se procure du bi-oxide de baryum ; on le broie dans un peu d'eau de manière à en faire une pâte ; d'un autre côté, on fait un mélange d'acide chlorhydrique et d'une certaine quantité d'eau que l'on place dans une éprouvette entourée de glace ; alors on ajoute dans l'acide le bi-oxide de baryum, qui s'y dissout sans effervescence, surtout en ayant soin d'agiter. L'acide chlorhydrique, en ramenant le bi-oxide à l'état de protoxide pour s'y combiner, en dégage l'oxigène qui s'unit à l'eau ; de sorte que la dissolution est formée de chlorure de baryum, de bi-oxide d'hydrogène et d'eau. On ajoute à cette dissolution, goutte à goutte, de l'acide sulfurique qui s'empare de la baryte, et la précipite à l'état de sulfate, en même temps que l'acide chlorhydrique est devenu libre ; on sépare le précipité par la filtration, et l'on recommence à ajouter comme ci-dessus du bi-oxide de baryum réduit en pâte, et de l'acide sulfurique qui, séparant la baryte en rendant libre l'acide chlorhydrique, permet de recommencer assez souvent cette manipulation pour charger l'eau d'une assez grande quantité d'oxigène. Arrivé à ce point, comme l'oxide de baryum a abandonné des flocons de silice, d'alumine, d'oxides de fer et de manganèse, on filtre sur une toile pour les séparer. On traite la liqueur par du sulfate d'argent ; il se forme un chlorure insoluble, et l'acide sulfurique est mis en liberté ; on sépare ensuite cet acide par la baryte bien pure, et l'on n'a plus qu'à concentrer la liqueur, au moyen de la machine pneumatique et de l'acide sulfurique.

L'eau oxigénée peut être employée à l'extérieur comme un excitant très énergique. On s'en sert avec avantage pour restaurer les vieux dessins, noircis par l'acide sulfhydrique ; dans ce cas, le sulfure noir de plomb, qui s'est formé, passe à l'état de sulfate blanc.

POLYSULFURE D'HYDROGÈNE.—Il est liquide à la température ordinaire. Sa couleur est jaune, tirant quelquefois sur le brun verdâtre. Il blanchit la langue comme le bi-oxide d'hydrogène, et y cause un sentiment pénible de cuisson. Il décolore et altère la peau, et détruit la couleur du tournesol. Sa consistance est tantôt celle d'une huile essentielle, tantôt celle d'une huile grasse, ce qui paraît dépendre de la quantité de soufre. Son odeur est désagréable et particulière ; il affecte très péniblement les yeux. Sa densité est à peu près de 1,769 ; soumis à un froid de 20 degrés, il ne se solidifie pas. Exposé à une chaleur de 60 à 70 degrés, il commence à se décomposer ; mais à la chaleur de

l'eau bouillante, la décomposition est prompte. Dans tous les cas, il en résulte du gaz sulfhydrique et un résidu de soufre. Abandonné à lui-même, il donne lieu au même phénomène, si ce n'est que le gaz ne se dégage, bulle par bulle, que de temps à autre. L'air ne l'altère qu'à l'approche d'une bougie allumée, alors il s'enflamme, et donne lieu à de l'eau et de l'acide sulfureux.

Le charbon très divisé en dégage le gaz sulfhydrique; il en est de même du platine, de l'or, de l'iridium et de quelques autres métaux, probablement sans s'unir au soufre.

Les oxides et les sulfures agissent sur lui comme ils agissent sur le bi-oxide d'hydrogène, en donnant lieu à des phénomènes analogues. Mais c'est surtout l'action des persulfures alcalins qu'il est utile de remarquer; en effet, l'action est très forte : il se dégage de l'acide sulfhydrique, et il se précipite du soufre; de là vient que dans sa préparation l'on est obligé de verser le persulfure alcalin dans l'acide, et non pas l'acide dans le persulfure, parce que, à mesure que le polysulfure d'hydrogène se forme, il est décomposé par l'excès de persulfure alcalin.

Les acides, loin de le décomposer, lui donnent, comme au bi-oxide d'hydrogène, beaucoup plus de stabilité.

Enfin, le sucre, l'amidon, la fibrine, la chair musculaire, le décomposent également, et l'on remarque que les matières animales agissent plus énergiquement que les substances végétales.

L'eau ne le dissout pas sensiblement; il en est de même de l'alcool. L'éther le dissout d'abord, puis laisse déposer des cristaux de soufre.

Pour le préparer, on verse dans un grand entonnoir, dont le bec est bouché, de l'acide chlorhydrique étendu d'eau, puis on y ajoute peu à peu, et en agitant, du polysulfure de calcium; le chlore de l'acide s'unit avec le calcium, et forme un chlorure soluble, tandis que l'hydrogène se combine avec le soufre pour constituer le polysulfure d'hydrogène qui se précipite, et que l'on sépare en ouvrant le bec de l'entonnoir. L'analyse y a démontré des quantités variables de soufre; peut-être arrivera-t-on à obtenir un bi-sulfure dont la composition sera de 1 atome de soufre, et de 1 atome d'hydrogène = H S.

Art. I. — DES HYDRACIDES.

Les hydracides sont des combinaisons dans lesquelles l'hydrogène se trouve en proportion telle qu'en s'unissant à l'oxigène d'un oxide, il se forme juste de l'eau et un nouveau composé, que nous étudierons sous le nom de *sel halogène.* Pour bien concevoir cette théorie, nous pouvons prendre la combinaison de l'acide chlorhydrique avec un oxide; en effet, nous avons :

acide chlorhydrique formé de		oxide formé de	
2 at. d'hydrogène	uni à	1 at. d'oxigène	= 1 at. d'eau,
2 at. de chlore	uni à	1 at. de métal	= 1 at. de chlorure.

Cette théorie s'applique à tous les autres hydracides.

14° DES ACIDES CHLORHYDRIQUE, FLUORHYDRIQUE, SULFHYDRIQUE.

ACIDE CHLORHYDRIQUE. (*Acide marin*, *acide muriatique*, *esprit de sel*). — D'abord obtenu par Glaubert, il fut regardé comme un oxacide jusqu'à l'époque où MM. Gay-Lussac et Thénard firent voir qu'il était composé d'hydrogène et de chlore.

Cet acide est gazeux, incolore, d'une odeur vive et piquante, produisant des vapeurs blanches à l'air, rougissant fortement la teinture de tournesol; il éteint les corps en combustion. Sa pesanteur spécifique est de 1,247.

Exposé à un froid de 50 degrés, il se condense sans changer d'état; mais si en même temps on le refroidit, on peut le liquéfier. La plus forte chaleur ne le décompose pas. Il en est de même de l'air et de l'oxigène. Un courant d'étincelles électriques ne le décompose que partiellement.

L'acide chlorhydrique n'a aucune action sur les métalloïdes. Au contraire, la plupart des métaux le décomposent, quelques uns même le décomposent à la température ordinaire. Tels sont surtout les métaux alcalins; il en résulte un chlorure et du gaz hydrogène qui se dégage.

L'acide chlorhydrique a tant d'affinité pour l'eau, que, aussitôt qu'on place sur l'eau une éprouvette pleine de ce gaz, elle s'y élance comme dans le vide. Aussi l'eau peut-elle s'en charger de 464 fois son volume.

La dissolution, dans l'eau, de gaz chlorhydrique, constitue l'acide du commerce. On l'obtient en faisant arriver dans des flacons, contenant de l'eau, un courant de gaz chlorhydrique qui s'y dissout très facilement. On se sert à cet effet de l'appareil de Woulf.

Cet acide liquide et concentré est blanc, très caustique, d'une odeur insupportable, rougissant le tournesol, d'une densité égale à 1,208, répandant quand il est concentré des vapeurs blanches à l'air. Mêlé avec l'acide azotique, on obtient un liquide rouge jaunâtre, connu sous le nom d'*eau régale*, en raison de la propriété qu'il possède de dissoudre l'or, *le roi des métaux*. C'est un mélange d'acides azotique et chlorhydrique non décomposés, d'acide hypo-azotique, de chlore et d'eau tenus en dissolution dans les deux acides; en effet, l'acide nitrique se décompose en acide hypo-azotique, et en oxigène, qui se combine à l'hydrogène de l'acide chlorhydrique pour former de l'eau; de là la présence du chlore dans la liqueur.

L'acide chlorhydrique résulte de la combinaison de 1 atome de chlore et 1 atome d'hydrogène; d'où H Ch.

On cite son existence dans les eaux du Rio-Vinagre. On le prépare facilement en versant de l'acide sulfurique sur du chlorure de sodium, et chauffant; le gaz qui se dégage est reçu dans des flacons pleins de mercure. La théorie s'explique ainsi: l'eau que contient l'acide sulfurique est décomposée; son oxigène se combine au sodium, forme de la soude dont l'acide sulfurique s'empare pour constituer du sulfate de soude; son hydrogène se combine au chlore du chlorure pour former l'acide chlorhydrique.

Cet acide est très employé dans les arts: en chimie, on s'en sert comme réactif; en médecine, on en fait des fumigations, des pédiluves, etc.

ACIDE FLUORHYDRIQUE. (*Acide hydro-fluorique ou hydro-phtorique.*) — Découvert par Schéele; il n'a été obtenu à l'état de pureté, pour la première fois, que par MM. Gay-Lussac et Thénard.

Cet acide est liquide, incolore; il rougit fortement le tournesol, répand à l'air des vapeurs blanches très épaisses; son odeur est âcre et piquante; sa saveur est très caustique.

C'est de tous les corps le plus corrosif; il désorganise la peau instantanément, et y produit une ampoule très douloureuse.

Exposé à un froid de 40 degrés, il ne se congèle pas; il bout au-dessous de 30 degrés, et forme un gaz que le froid liquéfie promptement. L'oxigène et l'air n'ont aucune action sur lui, non plus que les métalloïdes. Il est très avide d'eau : aussi chaque goutte d'acide produit-elle, en tombant dans ce liquide, un bruit semblable à celui d'un fer rouge qu'on y plongerait.

L'analyse n'a point permis d'isoler les éléments de cet acide; mais on conclut qu'il est formé d'un demi-volume de fluor et d'un demi-volume d'hydrogène par chaque volume de vapeur fluorhydrique, de ce que le chlore, le brome, l'iode, forment avec l'hydrogène de pareilles combinaisons.

On le prépare en traitant à chaud le fluorure de calcium par l'acide sulfurique : l'eau de cet acide est décomposée, son hydrogène se combine au fluor, pour former l'acide fluorhydrique; son oxigène se combine à la chaux qui forme avec l'acide sulfurique du sulfate de chaux. Cette préparation doit être faite dans des vases de plomb ou d'argent, l'acide fluorhydrique ayant la propriété de corroder tous les autres vases.

On s'en sert pour graver sur le verre.

ACIDE SULFHYDRIQUE. (*Acide hydro-sulfurique, hydrogène sulfuré.*) — Cet acide, dont la découverte est due à Schéele, est gazeux, incolore; d'une odeur et d'une saveur insupportables, et analogues à celles des œufs pourris. Il éteint les corps en combustion, rougit faiblement la teinture de tournesol, et possède une pesanteur spécifique de 1,1912. C'est de tous les gaz le plus délétère. Un air qui n'en contient que 1/1500 fait périr sur-le-champ un verdier que l'on y plonge; comprimé et refroidi, il peut être liquéfié.

L'acide sulfhydrique se décompose en partie dans un tube de porcelaine incandescent : il se dépose du soufre, et l'hydrogène devient libre. Il est probable que cette décomposition serait complète, si la chaleur était suffisamment élevée.

L'air et l'oxigène n'ont aucune action à froid sur l'acide sulfhydrique; mais à chaud ils le décomposent en formant de l'eau, de l'acide sulfureux et sulfurique. Le chlore, le brome et l'iode le décomposent en s'emparant de son hydrogène, et mettant le soufre à nu. Le chlore est le corps qui possède cette propriété au plus haut degré; aussi l'emploie-t-on avec succès dans les cas d'asphyxie par l'acide sulfhydrique.

L'eau peut dissoudre près de trois fois son volume d'hydrogène sulfuré, et constituer alors l'acide *sulfhydrique liquide*. Cette dissolution incolore possède les mêmes propriétés que l'acide gazeux. Par l'ébullition, elle perd son gaz ainsi que dans le vide; exposée à l'air, elle perd encore de son gaz; mais elle se trouble, parce que l'oxigène de l'air brûle son hydrogène.

Quelques acides, oxigénés par leur oxigène, peuvent, en brûlant son hydrogène et formant de l'eau, décomposer l'acide sulfhydrique; alors le soufre se dépose. Voilà ce qui arrive avec les acides iodique, bromique, chlorique, azotique, sulfurique, etc.

La plupart des métaux, à l'aide de la chaleur, peuvent décomposer l'acide sulfhydrique, s'emparer du soufre, dégager l'hydrogène, et former un *sulfure*. Tel est le cas du potassium et du sodium qui le décomposent à froid; les autres ne le décomposent bien qu'à l'aide d'une température plus ou moins élevée.

L'acide sulfhydrique se trouve dans les eaux sulfureuses; il se forme toutes les fois que le soufre se trouve avec l'hydrogène naissant; de là vient qu'on les trouve dans les œufs pourris, etc.

On le prépare en mettant en contact du sulfure d'antimoine avec de l'acide chlorhydrique; l'hydrogène de l'acide se combine au soufre du sulfure pour former le gaz sulfhydrique, pendant que le chlore s'unit au métal, et forme du chlorure d'antimoine.

Il est employé comme réactif et contre les maladies de la peau, etc.

L'analyse a fait voir qu'il était formé de 1 atome de soufre et de 2 atomes d'hydrogène $= H^2S$.

ACIDE IODHYDRIQUE. (*Acide hydriodique.*) — C'est à M. Gay-Lussac que nous devons la connaissance de l'acide iodhydrique, ainsi que celle de ses propriétés.

Cet acide est gazeux, incolore, très acide, d'une odeur très piquante, rougissant la teinture de tournesol; il éteint les corps en combustion, et répand des vapeurs blanches à l'air. Sa densité $= 4,4288$.

Il se décompose en partie à une chaleur rouge; mêlé à l'air ou l'oxigène, la décomposition est totale; il se forme de l'eau et de l'iode libre.

Le chlore et le brome s'emparent de son hydrogène, et mettent l'iode à nu.

Il se combine au proto et au sesqui-phosphure d'hydrogène, en formant un composé blanc cristallin.

Les acides sulfurique et azotique le décomposent en formant de l'eau aux dépens de l'oxigène de l'acide ajouté, et de l'hydrogène de l'acide iodhydrique; l'iode mis à nu se précipite. Les acides chlorique, bromique, iodique, le décomposent aussi.

Beaucoup de métaux, tels que le potassium, le sodium, le zinc, le fer, le mercure, etc., en opèrent également la décomposition; même à la température ordinaire il se dégage de l'hydrogène, et s'unit aux métaux.

L'eau absorbe rapidement le gaz iodhydrique; et quand la dissolution qui en résulte est concentrée, elle constitue l'acide *iodhydrique liquide*, lequel a beaucoup de densité, et répand à l'air d'épaisses fumées.

Cet acide est formé de 1 atome d'iode et de 1 atome d'hydrogène $=$ H I.

On l'obtient en traitant, par très peu d'eau, l'iodure de phosphore, dont nous avons parlé page 380. On chauffe légèrement: l'eau est décomposée; son hydrogène s'unit à l'iode, et forme le gaz iodhydrique que l'on recueille sur le mercure, tandis que son oxigene se combine au phosphore pour constituer de l'acide phosphoreux fixe. On peut avec plus d'économie l'obtenir liquide, en faisant passer un courant de gaz sulfhydrique à travers de l'eau tenant en suspension de l'iode: l'acide sulfhydrique cède son hydrogène à l'iode, et son soufre se précipite. On filtre et l'on concentre la liqueur.

ART. II. — DES ACIDES MÉTALLOÏDIQUES QUI NE CONTIENNENT PAS D'HYDROGÈNE.

Deux de ces acides méritent de nous arrêter un instant; ce sont l'acide *fluoborique* et l'acide *fluosilicique*.

ACIDE FLUOBORIQUE. (*Fluorure de bore*, *gaz fluoboré.*) — Découvert par MM. Gay-Lussac et Thénard; il est gazeux, incolore, d'une odeur piquante, analogue à celle de l'acide chlorhydrique; d'une saveur très acide. Sa pesanteur spécifique $=$ 2,371. Il éteint les corps en combustion, et il est impropre à la respiration.

Le feu, l'air et l'oxigène ne l'altèrent pas.

L'eau en dissout 700 fois son volume ; d'où résulte le gaz le plus soluble.

On l'a d'abord regardé comme formé d'acide borique et d'acide fluorhydrique ; aujourd'hui on est d'accord sur sa composition, et on le regarde comme formé par la combinaison du fluor avec le bore.

On peut l'obtenir en chauffant un mélange d'acide borique, de fluorure de calcium et d'acide sulfurique. Il se fait d'abord de l'acide fluorhydrique, lequel en contact avec l'acide borique se décompose en hydrogène, qui forme de l'eau avec l'oxigène de l'acide borique, et en fluor qui, se combinant avec le bore, constitue le gaz fluoborique.

Il n'existe pas dans la nature et est inusité.

ACIDE FLUOSILICIQUE. — Il est gazeux, incolore, d'une odeur très piquante, assez semblable à celle du gaz chlorhydrique ; d'une densité de 3,5735 ; rougissant fortement le tournesol.

Le feu et les métalloïdes sont sans action sur lui.

L'eau le décompose : son silicium s'unit à l'oxigène de l'eau, forme de l'acide silicique gélatineux, et son fluor s'empare de l'hydrogène pour former de l'acide fluorhydrique.

Il est formé de 6 atomes de fluor et de 1 atome de silicium $= Si\,F^6$.

On l'obtient comme le précédent, seulement on remplace l'acide borique par du sable qui n'est que de l'acide silicique. La théorie est la même.

APPENDICE.

C'est entre les métalloïdes et les métaux que l'on a coutume de placer le zirconium et le thorinium. Conséquemment ce serait ici l'endroit de traiter de ces deux corps ; mais le peu d'importance qu'ils ont, soit dans les arts, soit dans la médecine, nous oblige de les passer sous silence.

CHAPITRE VI.

DES MÉTAUX.

15° ÉTUDE GÉNÉRALE. CLASSIFICATION DES MÉTAUX ; LEURS PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ; ACTION QU'EXERCENT SUR EUX LA CHALEUR, L'ÉLECTRICITÉ, LE FLUIDE MAGNÉTIQUE, L'OXIGÈNE, L'AIR, LES CORPS COMBUSTIBLES (CARBONE, PHOSPHORE, SOUFRE, CHLORE) ; L'EAU, LES ACIDES SULFURIQUE, AZOTIQUE, CHLORHYDRIQUE, ETC.

On a désigné sous le nom de *métal* des corps simples, presque complétement opaques, très brillants, en masse ou même en poudre grossière, doués de la propriété de prendre un éclat très vif après qu'ils ont été polis. Ils sont bons conducteurs du calorique et de l'électricité, se combinent en plusieurs proportions avec l'oxigène, et forment des oxides dont la propriété essentielle est de pouvoir se combiner avec les acides. Remarquons pourtant qu'il en est qui ne forment que des acides et point de bases, que d'autres forment des bases et des acides.

Les métaux connus aujourd'hui sont au nombre de 39, et comme ont les a divisés en 6 sections, nous ne les citerons que d'après l'ordre de leur classification.

Plusieurs classifications ont été proposées, mais celle qui est la plus suivie est celle qui est due à M. Thenard.

1re *section.* — Métaux qui peuvent absorber l'oxigène à la température la plus élevée, et décomposer l'eau à la température ordinaire en s'emparant de son oxigène, et en dégageant son hydrogène avec effervescence.

Ce sont : le potassium, sodium, lithium, barium, strontium, calcium.

2e *section.* — Métaux qui peuvent absorber l'oxigène à la

température la plus élevée, mais qui ne décomposent l'eau qu'à l'ébullition ou de 100 à 200°.

Ce sont : le magnésium, glucynium, l'ytrium, aluminium.

3e *section.* — Métaux qui peuvent encore absorber l'oxigène à la température la plus élevée, mais qui ne décomposent l'eau qu'au degré de la chaleur rouge :

manganèse, zinc, fer, étain, cadmium, cobalt, nickel.

4e *section.* — Métaux absorbant encore l'oxygène à la température la plus élevée, mais qui ne décomposent l'eau ni à froid ni à chaud :

arsenic, molybdène, chrome, vanadium, tungstène, columbium, antimoine, titane, tellure, urane, cérium, bismuth, cuivre, plomb.

Les 8 premiers sont acidifiables, les 6 autres ne sont qu'oxidables.

5e *section.* — Métaux qui ne peuvent absorber l'oxigène qu'à un certain degré de chaleur, et qui ne peuvent point opérer la décomposition de l'eau.

Leurs oxides se réduisent à une température élevée.

Mercure, osmium, rhodium, iridium, palladium.

6e *section.* — Métaux qui ne peuvent absorber le gaz oxigène et décomposer l'eau à aucune température, et dont les oxides sont réductibles au-dessous de la chaleur rouge ;

Argent, or, platine.

Tous les métaux sont solides à la température ordinaire, excepté le mercure qui ne se solidifie même qu'entre — 39 et — 40°.

La couleur des métaux varie beaucoup, l'or est jaune, le cuivre et le titane sont rouges, les uns sont bleuâtres, les autres plus ou moins blancs. Plusieurs d'entre eux offrent une odeur et une saveur désagréables quand on vient à les frotter. Ils ont presque tous une pesanteur spécifique plus grande que celle de l'eau, et qui varie à l'infini depuis 0,86507, poids du potassium, et 0,972 celui du sodium, jusqu'à 20,98 celui du platine, le poids de l'eau étant toujours pris comme point de comparaison.

ÉCLAT. — On donne le nom d'*éclat métallique* au brillant très vif particulier aux métaux même réduits en poussière, ce qui dépend de la propriété qu'ont ces corps de réfléchir la lumière.

OPACITÉ. — Pendant long-temps on a regardé les métaux comme absolument opaques; mais une feuille d'or très mince laisse passer quelques rayons lumineux, et l'or est le plus dense des métaux après le platine ; il est évident qu'ils ne sont pas entièrement opaques, à moins que l'on n'admette que le *battage* y ait fait naître des trous imperceptibles qui permettent à la lumière de passer.

DUCTILITÉ. — On donne ce nom à la propriété qu'ont les métaux de se réduire en fils plus ou moins minces; on donne, au contraire, le nom de *malléabilité* à la propriété que certains ont de s'étendre en lames plus ou moins fines. Le fer, le cuivre, l'argent sont ductiles; le plomb, l'or, l'étain sont malléables; l'argent est ductile et malléable, etc.; enfin, on dit qu'ils sont cassants quand ils ne possédent ni l'une ni l'autre de ces propriétés; alors le simple choc les réduit en poudre, tels sont le bismuth, l'arsenic, l'antimoine, etc.

TÉNACITÉ. — On dit que les métaux ont de la ténacité quand, réduits en fils, ils peuvent supporter un poids plus ou moins considérable; par exemple, un fil de fer de 2 millimètres de diamètre supporte sans se rompre un poids de 249 kil. 659 gr., aussi possède-t-il cette propriété au plus haut degré.

La dureté est la propriété qu'ils ont de rayer plus ou moins les autres corps, tel est le fer; d'autres, au contraire, sont mous comme la cire, tels sont le potassium et le sodium.

Les métaux offrent un tissu qui est peu variable, ainsi les uns sont lamelleux comme le bismuth, l'antimoine, le zinc; les autres sont fibreux comme le fer; enfin, d'autres sont grenus

comme l'antimoine pur, et leur cristallisation est en général dérivée de la forme cubique.

Les métaux sont élastiques et sonores; propriétés qui sont en rapport avec leur dureté. Ils sont plus dilatables par la chaleur que les autres solides.

Le calorique les fond plus ou moins facilement. Le potassium, le sodium, le plomb, l'étain, le bismuth n'exigent que la température d'un fourneau ordinaire. Le platine, le rhodium, l'iridium, ne fondent, au contraire, qu'à la chaleur que produisent en brûlant l'oxigène et l'hydrogène. Quelques uns sont volatils, tels sont : le mercure, l'arsenic, le zinc, le potassium, etc.

Ils conduisent fort bien le fluide électrique, aussi se sert-on de métaux pour la construction des machines électriques. Quand leur surface suffit pour l'écoulement du fluide, ils n'éprouvent aucune altération; mais lorsqu'elle n'est pas suffisante, le fluide pénètre dans leur intérieur, les échauffe et finit même par les fondre et les volatiliser : voilà comment agit la décharge d'une forte batterie électrique. Si l'expérience se fait dans l'air ou l'oxigène, quelques métaux brûlent en produisant des flammes de couleur variée; par exemple, le fer en donne une blanche, le zinc, une blanche mêlée de bleu et de rouge; l'étain, une d'un blanc bleuâtre; l'argent, une verte, etc.

Quelques métaux possèdent la propriété d'être attirables à l'aimant : ce sont le fer, le cobalt et le nickel; mais c'est surtout le fer, ou le fer à l'état d'acier qui la possède au plus haut degré. De plus, le fer peut acquérir la propriété de l'aimant, et alors d'attirer le fer, l'acier, etc., comme le fait l'aimant.

Le gaz oxigène se combine avec tous les métaux sans exception, et forme des composés que nous étudierons sous le nom d'oxides métalliques. Mais cette combinaison se fait de différentes manières, selon la section à laquelle les métaux appartiennent. Nous en avons parlé au commencement de cet article; nous n'y reviendrons pas. Nous dirons seulement que ceux de la 1re section peuvent absorber l'oxigène à la température ordinaire; que ceux de la 2e et de la 3e section s'absorbent sous l'influence de l'humidité; que plusieurs de ceux de la 4e section s'oxident légèrement et se ternissent dans les mêmes circonstances. Plusieurs de ces combinaisons se font avec dégagement de calorique et de lumière.

L'air agit sur les métaux de la même manière que l'oxigène,

si ce n'est pourtant que son action est plus lente, et qu'après être oxidés certains métaux passent à l'état de carbonates. Parmi les métalloïdes, il n'y a que le phosphore, le soufre, le chlore, l'iode, le brome, et probablement le fluor, qui s'unissent avec tous les métaux. Quant aux autres, ils se combinent de préférence avec certains métaux qu'avec certains autres, tels sont : l'hydrogène, le bore, le carbone, le silicium et l'azote.

Le phosphore, en se combinant avec les métaux, donne lieu à des *phosphures* solides, inodores et cassants. La combinaison s'opère souvent avec dégagement de calorique et de lumière.

Le soufre se combine directement avec tous les métaux, souvent avec dégagement de calorique et de lumière, il en résulte des combinaisons possédant des propriétés électro-négatives ou électro-positives, que l'on nomme *sulfures*, et qui peuvent se combiner ensemble pour former une série de sels qu'on appelle *sulfo-sels*.

Tous les métaux, à l'exception du chrome, du titane, du colombium, du rhodium et de l'iridium, se combinent avec le chlore, à la température ordinaire ou une température peu élevée, en donnant lieu très souvent à un dégagement de calorique et de lumière, et à des composés que nous étudierons sous le nom de *chlorures*.

L'iode et le brome forment aussi des combinaisons avec tous les métaux, et donnent lieu aux mêmes réactions que celles que présente le chlore; seulement l'iode exige plus souvent une température élevée. Ces combinaisons constituent les *iodures* et les *bromures*.

Aucun métal n'est soluble dans l'eau s'il n'est oxidé, encore cette propriété n'appartient-elle qu'à quelques uns. Les métaux de la 1re section la décomposent à la température ordinaire; les métaux de la 2e section opèrent la décomposition de l'eau à une température de 100 à 200°. Ceux de la 3e, à une température rouge; ceux des autres sections ne la décomposent pas; la présence d'un oxacide puissant, en aidant la réaction, fait acquérir, aux métaux de la 2e et de la 3e section, la propriété de décomposer l'eau à la température ordinaire. Dans tous les cas, l'oxigène de l'eau se combine au métal, et l'hydrogène se dégage. Les principaux hydracides donnent également lieu à un dégagement d'hydrogène; mais alors on admet que c'est l'hydrogène de l'acide qui devient libre pendant que son radical se combine au métal.

Les métaux autres que le chrome, le tungstène, le colombium, le titane, l'urane, le cérium, l'osmium, le palladium, le rhodium, le platine, l'or et l'iridium, décomposent l'acide sulfurique concentré à la température de 100 à 200. Toutefois la décomposition se fait plus ou moins facilement, selon la cohésion du métal, ou son affinité pour l'oxigène. Quoi qu'il en soit, toujours il y a formation d'un sulfate et dégagement d'acide sulfureux. Si l'acide était étendu d'eau, alors il n'agirait plus que sur les métaux des trois premières sections, l'étain excepté; alors l'action est vive, l'eau est décomposée; il se dégage de l'hydrogène et il se forme un sulfate. Remarquons qu'à l'acide sulfurique concentré, contenant toujours de l'eau, il doit y avoir aussi dégagement d'hydrogène.

L'acide azotique concentré attaque les mêmes métaux que l'acide sulfurique, plus l'urane et le palladium; son action a lieu le plus souvent à la température ordinaire. Il en résulte ordinairement, du gaz oxide d'azote ou du gaz azote et un oxide métallique qui s'unit le plus souvent à l'acide. Il peut en résulter aussi que le métal s'acidifiant, il n'y ait point de combinaison avec l'acide. Quelquefois l'eau se trouve décomposée en même temps que l'azote de l'acide azotique devient libre, alors l'hydrogène à l'état naissant se combine avec l'azote, et forme de l'ammoniaque qui s'unit avec une partie de l'acide. Cette réaction a surtout lieu avec la limaille de fer. L'acide azotique un peu affaibli agit encore énergiquement sur les métaux; quelquefois même son action est plus prompte; c'est ce qui arrive avec la limaille de fer ou la grenaille d'étain. En effet, l'acide concentré ne les attaque pas, pendant que l'acide un peu étendu produit une réaction des plus vives.

Le gaz chlorhydrique, mis en contact avec le potassium, le sodium, le manganèse, le zinc, le fer et l'étain, est décomposé; son chlore s'unit au métal, et son hydrogène se dégage. Il est probable que tous les métaux alcalins et terreux se comportent de même avec cet acide. Les métaux des trois dernières sections n'ont aucune action sur lui. Lorsqu'il est en dissolution dans l'eau, l'action est dans quelques cas plus prompte; c'est ce qui a lieu pour le zinc, le manganèse, le fer et l'étain. Quoique cet acide n'agisse pas sur les métaux de la 4e section, cependant à chaud et avec le contact de l'air ou de l'oxigène, le cuivre, le plomb, etc., peuvent être attaqués; c'est qu'ici l'oxigène réagit d'un côté sur l'acide pour s'emparer de son hydrogène, tandis que le métal de l'autre tend à se combiner avec le chlore.

Nous avons vu, en traitant de l'hydrogène, l'action que certains métaux exercent sur ce gaz en contact avec l'oxigène; il est donc inutile d'y revenir.

Les métaux se trouvent tantôt à l'état de liberté, et ce sont en général les moins oxidables; tantôt, au contraire, ceux qui ont le plus d'affinité pour l'oxigène se trouvent à l'état de combinaison, soit avec l'oxigène, le chlore, le fluor, etc., soit avec l'oxigène et un acide à l'état de sel.

Le mode d'extraction des métaux variant à l'infini, nous n'en parlerons qu'en traitant des métaux en particulier. Cette étude, dans laquelle nous ne passerons en revue que les métaux les plus importants, sera faite dans le même ordre que nous les avons classés.

Plusieurs métaux sont d'un usage très fréquent; parmi eux se trouvent le fer, le cuivre, le plomb, l'étain, le mercure, le zinc, le platine, etc.

16° NOTIONS SUR L'ÉTAT NATUREL DES MÉTAUX, ET LA PRÉPARATION DES PLUS IMPORTANTS; ÉTAIN, FER, CUIVRE, PLOMB, MERCURE, ARGENT, OR, PLATINE.

Métaux de la 1re section.

Parmi les six métaux qui composent cette section, nous ne traiterons que du potassium, qui seul avec le sodium offre vraiment quelque intérêt.

Les métaux de la 1re section, unis à l'oxigène, donnent naissance à des oxides que l'on connaissait sous le nom d'*alcalis* : de là le nom de *métaux alcalins* par lequel on les désigne quelquefois.

POTASSIUM. — Découvert par Davy, le potassium est solide, possédant l'éclat métallique au plus haut degré. Quand il est récemment préparé, il ressemble à l'argent mat; mais il se ternit bientôt au contact de l'air. Il est aussi mou que la cire, aussi l'ongle le raie-t-il facilement, et peut-on le couper avec un couteau; il offre alors une section lisse, unie et des plus brillantes. Sa pesanteur spécifique = 0,865. Soumis à une température de 58°, il entre en fusion, et si la chaleur est plus forte, il se volatilise en produisant une vapeur verte.

Exposé au contact de l'air ou de l'oxigène, même à la tempé-

rature ordinaire, il s'empare de ce dernier gaz et produit un oxide blanc qui recouvre ordinairement le potassium et l'empêche de s'oxider facilement. Si on chauffe le potassium dans un excès d'oxigène, il passe bientôt à l'état de peroxide; dans tous les cas la combinaison se fait avec dégagement de calorique et de lumière. Cette propriété de s'oxider facilement fait qu'on est obligé de le conserver dans de l'huile de naphte.

Son affinité pour l'oxigène est telle qu'il décompose instantanément l'eau, s'empare de son oxigène et en dégage l'hydrogène; mais comme le calorique qui se dégage est en assez grande quantité, l'hydrogène s'enflamme à mesure qu'il se produit. Bientôt le potassium est transformé entièrement en oxide qui reste dissous dans l'eau.

Pour l'obtenir, on peut suivre le procédé suivant. On prend un fragment de potasse dans lequel on fait une cavité que l'on remplit de mercure, alors on place ce fragment sur une plaque métallique et l'on fait arriver les deux pôles d'une forte pile, de manière que le pôle positif soit en contact avec la plaque et le pôle négatif avec le mercure. Quand la pile ayant été activée, le mercure contient assez de potassium, on distille l'amalgame avec de l'huile de naphte employée ici pour chasser, par sa volatilisation, l'air contenu dans la cornue. Bientôt après, le mercure se volatilise et le potassium reste à l'état de pureté.

On l'obtient en bien plus grande quantité en exposant à une haute température la potasse à l'action du fer ou du charbon; ceux-ci s'emparent de l'oxigène et mettent à nu le potassium qui se volatilise.

SODIUM. — Le sodium est inodore, presque aussi ductile et presque aussi mou que la cire. Il a une couleur analogue à celle du plomb; sa section est unie et très brillante. Sa pesanteur spécifique = 0,972. Il fond à 90°, et ne se volatilise pas.

Ses autres propriétés ont tant d'analogie avec celles du potassium, que quand on connait celles de ce dernier corps, on peut faire l'histoire de l'autre.

On l'obtient absolument de la même manière.

LITHIUM, BARIUM, STRONTIUM, CALCIUM. — Ces quatre corps ont la plus grande analogie de propriété. Comme ils sont entièrement inusités, nous les passerons sous silence; nous dirons seulement que, pour les obtenir, on suit absolument le même procédé que celui que nous avons décrit pour l'obtention du potassium.

Métaux de la 2e section.

Ces métaux sont au nombre de quatre, savoir :

aluminum, glucinium,
ytrium, magnésium.

Ils ont été appelés *terreux*, parce que, autrefois, leurs oxides n'étaient connus que sous le nom de TERRES. Long-temps on n'a pas pu les réduire. Ce sont MM. Woelher et Bussy qui sont parvenus à les isoler en chauffant leurs chlorures avec du potassium.

Ces métaux ne nous arrêteront pas plus long-temps, car ils sont entièrement inusités.

Métaux de la 3e section.

Parmi les sept métaux qui composent cette section, savoir : le *manganèse*, le *zinc*, le *fer*, l'*étain*, le *cadmium*, le *nickel* et le *cobalt*, il n'y en a que trois : le zinc, le fer et l'étain, que nous traiterons un peu complétement.

MANGANÈSE. — Ce métal, découvert par Schéele et Ganh, en 1774, est solide, très cassant, très dur, grenu, d'une couleur gris-blanc; pesant 6,85; fondant à 160° du pyromètre de Wedgwood non volatil, se combinant facilement avec l'oxigène en plusieurs proportions. Ce métal, qui est sans usages, s'obtient en calcinant le peroxide de manganèse avec du charbon.

FER. — Il est solide, dur, à gros grains, acquérant par le frottement une odeur sensible; très ductile, il passe mieux à la filière qu'au laminoir. Sa ténacité est extrême; car un fil de 2 millimètres de diamètre est capable de supporter un poids de 242 kilog. 659. Sa pesanteur spécifique = 7,788.

Il fond à 130° du pyromètre de Wedgwood. Il est attirable à l'aimant, et peut même s'aimanter soit par la percussion, soit par le frottement contre un aimant naturel ou artificiel, en frottant celui-ci toujours dans le même sens, soit enfin en conservant des barres de fer dans une position verticale, ou sous un angle de 70° et dans le plan du méridien magnétique.

C'est l'un des métaux les plus combustibles; car, porté au rouge, puis mis en contact avec l'oxigène, il brûle entièrement et se convertit en oxides qui apparaissent sous forme d'aigrette

lumineuse. Ce que l'on connaît sous le nom de battitures n'est autre chose qu'un oxide de fer. Ce métal s'oxide lui-même à la température ordinaire quand l'oxigène ou l'air sont un peu humides, à moins que, comme l'ont proposé MM. Vicat et Payen, l'on n'ait recouvert le fer d'une couche d'alcali. L'oxide qui se forme porte le nom vulgaire de *rouille*.

Tous les métalloïdes, l'hydrogène excepté, sont susceptibles de se combiner avec le fer. La plupart des métaux peuvent également s'allier à lui.

L'eau présente avec le fer des phénomènes remarquables. Nous savons maintenant qu'à une température rouge elle est décomposée; mais elle l'est encore à la température ordinaire, pourvu qu'elle ait le contact de l'air; c'est qu'alors le fer s'oxide d'abord aux dépens de l'oxigène que l'eau tient en dissolution; ensuite l'oxide formé et le fer non oxidé, constituant une sorte de pile faible, réagissent sur l'eau, la décomposent de manière que son oxigène se fixe sur le métal, tandis que son hydrogène se dégage. Au contraire, une lame de fer bien décapée n'a aucune action sur de l'eau privée d'air.

Le fer se trouve naturellement sous quatre états : 1° natif, 2° oxidé, 3° oxidé et combiné à un acide; 4° en combinaison avec le carbone, le soufre, etc.

Pour extraire le fer, on se sert de deux procédés : 1° par la méthode des hauts fourneaux ; 2° par la méthode catalane. Dans la première méthode, où l'on emploie une haute température, le fer passe d'abord à l'état de fonte; dans la 2e, au contraire, le fer est immédiatement transformé en fer ouvrable.

Dans les deux méthodes, on emploie les oxides de fer et son carbonate. On les calcine dans des fourneaux particuliers, après les avoir mélangés avec une certaine quantité de charbon; celui-ci s'empare de l'oxigène de l'oxide, forme de l'oxide de carbone et de l'acide carbonique qui se dégagent, tandis que le fer mis à nu s'écoule à la partie inférieure du fourneau.

Les usages du fer dans les arts sont assez connus pour qu'il soit inutile de les rapporter ici. En médecine, on l'emploie dans une foule de préparations comme tonique, apéritif, astringent, etc.

ZINC. — Il est solide, blanc-bleuâtre, lamelleux et ductile, pourtant il passe mieux au laminoir qu'à la filière; sa dureté est faible, sa pesanteur spécifique = 7,1. Il fond à 370°, et se volatilise un peu au-dessus de cette température. Chauffé avec

le contact de l'air ou de l'oxigène, ce métal s'oxide, en répandant une lumière très intense. Il se combine avec presque tous les métalloïdes et presque tous les métaux. Parmi les alliages qu'il peut former, le plus important est le cuivre jaune ou laiton.

Le zinc se trouve tantôt à l'état d'oxide, tantôt à l'état de sel, et tantôt à l'état du sulfure ou blende.

On se le procure en calcinant avec du charbon, soit l'oxide de zinc, soit la calamine, dans un appareil où le zinc, étant mis à nu, puisse venir se condenser dans un récipient approprié.

Le zinc est assez employé. Il forme l'un des éléments de la pile dont il est, par rapport au cuivre, l'élément positif. On en fait l'oxide de zinc. Il sert à la préparation de l'hydrogène; enfin on en fait des conduits, des baignoires, etc. On a voulu l'employer à faire des ustensiles de cuisine, mais il est si facilement attaquable par les acides, qu'il formait des sels doués de propriétés émétiques.

ÉTAIN. — C'est un métal solide, offrant presque la couleur de l'argent, il est très-malléable et peu ductile. Lorsqu'on le plie il fait entendre un cri caractéristique appelé *cri de l'étain.* Frotté entre les doigts, il leur communique une odeur particulière. Sa pesanteur spécifique est de 7,291. Il fond à 210° et n'est pas volatil. L'oxigène ne se combine avec lui qu'à une haute température, de même qu'il ne décompose l'eau qu'à une chaleur incandescente, d'où l'on voit qu'il a moins d'affinité pour l'oxigène que les métaux précédents.

Le phosphore, le soufre, le sélénium, l'iode, le brome, le chlore, ainsi que la plupart des métaux, se combinent avec lui.

L'étain n'est pas très répandu dans la nature. On ne le trouve que sous deux états, à l'état d'oxide et à celui de sulfure. Les mines les plus belles sont placées dans l'Inde, l'Angleterre, l'Allemagne et l'Espagne; en France il y en a fort peu. Pour l'obtenir, on fait un mélange de bi-oxide et de charbon, et on le calcine dans un fourneau à manche; bientôt le charbon réduit l'étain qui se rend dans le creuset du fourneau.

Il est employé assez fréquemment. Amalgamé, il sert à étamer les glaces; allié au cuivre, il forme le métal des canons, des cloches, etc.; on en fait des ustensiles de ménage; on l'emploie quelquefois en médecine comme vermifuge.

CADMIUM, NICKEL, COBALT. — Le cadmium est un métal qui, en raison de sa rareté, n'est pas employé; il fut découvert

par MM. Stromeier et Hermann, en 1818. Il est solide, blanc, inodore, sans saveur, très brillant et susceptible d'un beau poli; il est non ductile et malléable, faisant entendre en le pliant le *cri de l'étain*. Écroui, il pèse 8,69 ; il se fond avant de rougir et se volatilise.

Il se trouve dans les minerais de zinc, il offre des propriétés qui pourraient le rendre précieux dans les arts.

Il n'en est pas de même du nickel et du cobalt, qui ne sont pas non plus employés; aussi ne dirons-nous rien de ce qui les concerne, d'autant mieux que leurs propriétés chimiques sont, à peu de chose près, les mêmes que celles des autres métaux de cette section.

Métaux de la 4e section.

Les métaux qui composent cette section ont pour caractères principaux de ne décomposer l'eau ni à froid ni à chaud, et d'absorber l'oxigène à une température élevée; ils sont au nombre de 14, parmi eux l'arsenic, le molybdène, le chrome, le vanadium, le tungstène, le colombium, l'antimoine, le titane et le tellure, sont acidifiables; l'urane, le cerium, le bismuth, le cuivre et le plomb, ne sont qu'oxidables.

ARSENIC. — Connu depuis long-temps, c'est Brandt qui le premier l'a considéré comme un métal.

L'arsenic est solide, gris d'acier, fragile, brillant lorsque sa cassure est récente, se ternissant bientôt à l'air; sa texture est grenue et écailleuse; frotté, il communique aux doigts une odeur sensible. Il n'a pas de saveur; sa pesanteur spécifique = 5,959. Soumis à une chaleur de 180°, il se volatilise sans se fondre. Pour le fondre il faut le chauffer à une pression plus forte que celle de l'atmosphère.

L'oxigène et l'air humides oxident lentement l'arsenic, mais à une température élevée, l'oxigène est promptement absorbé et il se forme un acide blanc appelé *arsénieux*. Plusieurs métalloïdes, l'hydrogène même, se combinent avec l'arsenic de même que la plupart des métaux. L'eau n'a aucune action sur lui, à moins qu'elle ne contienne de l'air, car alors l'arsenic s'empare de l'oxigène dissous, forme de l'acide arsénieux qui se dissout. Cette dissolution est connue sous le nom de *mort aux mouches*.

L'arsenic se trouve à l'état natif, à l'état d'oxide et de sel, et combiné avec le soufre ou divers métaux. On l'obtient en trai-

tant l'oxide blanc par du charbon qui s'empare de l'oxigène, et l'arsenic mis à nu se volatilise.

Uni à l'étain, le cuivre et le platine, il sert à faire des miroirs de télescope. Il est employé dans les manufactures de porcelaines à l'état de combinaison, avec le cobalt, pour leur donner cette belle couleur bleue.

MOLYBDENE, CHROME, TUNGSTÈNE, COLOMBIUM, VANADIUM, TITANE, TELLURE. — Nous ne faisons que signaler ces métaux dont les propriétés ont les plus grands rapports entre elles, et qui sont communes à celles des métaux de cette section. En traiter particulièrement serait nous éloigner du but que nous nous sommes proposé.

ANTIMOINE. (*Régule d'antimoine, antimoine cru, stibium.*) — Ce métal, décrit pour la première fois par Basile Valentin, est solide, blanc-bleuâtre, très brillant, facile à réduire en poudre, d'une texture lamelleuse, développant une odeur sensible quand on le frotte, d'une densité de 6,7021. Il entre en fusion au-dessous de la chaleur rouge. Quand il est fondu, si on le laisse refroidir lentement, il présente, à la surface du culot, une cristallisation en feuilles de fougère; si l'antimoine était pur il ne présenterait plus cette cristallisation et prendrait une texture grenue. Il n'est volatil que dans un courant de gaz.

L'air et l'oxigène humides ne font que le ternir, mais à une température élevée le métal s'oxide facilement en dégageant une lumière assez vive. L'oxide blanc qui en résulte est toujours le protoxide.

Projeté dans du chlore gazeux, l'antimoine s'y enflamme et produit une chlorure ou *beurre d'antimoine.* Le soufre, l'iode, le brome, le phosphore et la plupart des métaux peuvent également s'y combiner.

On trouve l'antimoine à l'état natif, d'oxide, de sulfure et d'oxide-sulfureux. Pour l'extraire on se sert de son sulfure : on le grille convenablement à l'air de manière à le transformer en oxide que l'on traite par du charbon ou une matière végétale, ou plus simplement on traite le sulfure par le fer : celui-ci s'empare du soufre et met l'antimoine à nu.

Il est employé à la préparation du kermès, de l'émétique, du soufre doré; il entre dans la composition de l'alliage des caractères d'imprimerie, etc.; autrefois on en faisait de petites balles qu'on appelait pilules perpétuelles, on les rendait telles qu'on les avalait.

CUIVRE. — Le cuivre est très anciennement connu. C'est un corps solide, rouge un peu jaunâtre, très brillant, acquérant de l'odeur par le frottement; il est le plus sonore des métaux; il est très ductile et très malléable. Après le fer, c'est le plus tenace des métaux. Sa pesanteur spécifique est de 8,85. Le cuivre est fusible à 27° du pyromètre de Wedgwood; il n'est pas volatil; mis en contact avec la flamme il la colore en vert.

L'oxigène et l'air ne l'oxident un peu que lorsqu'ils sont humides; avec l'air, l'oxide passe ensuite à l'état de carbonate. Si l'on élève la température, la combinaison se fait rapidement, et le composé qui se forme est toujours le bi-oxide de cuivre.

Le phosphore, le soufre, le sélénium, le chlore, le fluor, le brome et l'iode, peuvent se combiner avec le cuivre; il paraît en être de même du carbone et du silicium. La plupart des métaux s'allient aussi au cuivre pour former des composés dont plusieurs offrent de l'importance.

Le cuivre se rencontre assez fréquemment, ou à l'état natif, ou à celui d'oxide, ou encore à celui de sulfure et de sel. Pour l'obtenir on peut se servir de son oxide ou de son carbonate que l'on calcine fortement avec du charbon. Le plus souvent on se sert du sulfure que l'on grille à l'air : l'oxigène de l'air brûle le soufre et oxide le métal; on traite ensuite l'oxide par du charbon, à une température élevée.

Après le fer, c'est sans contredit le métal que l'on emploie le plus souvent, on en fait beaucoup d'ustensiles; on en double les vaisseaux; il sert à former une grande partie de nos monnaies, de nos bijoux auxquels il communique de la dureté, etc.

PLOMB. — Connu de toute antiquité; il est solide, blanc bleuâtre, brillant, peu tenace, très mou et très malléable, susceptible d'acquérir une odeur sensible par le frottement. Sa densité = 11,445. C'est l'un des métaux les plus fusibles, puisque sa fusion a lieu vers 260°; il n'est pas volatil.

L'oxigène et l'air secs ne l'altèrent pas, humides ils ne font que le ternir; toutefois, dans son contact avec l'air, il passe lentement à l'état de carbonate; au contraire, à une chaleur voisine de son point d'ébullition, l'oxigène est promptement absorbé, et il se forme un oxide jaune connu sous le nom de *litharge;* en calcinant de nouveau cet oxide, il peut absorber une nouvelle dose d'oxigène et former le *minium.*

La plupart des métaux et le soufre, le phosphore, le sélé-

nium, l'iode, le brome et le chlore, se combinent facilement avec le plomb.

Il se trouve rarement à l'état d'oxide, souvent à l'état de sel, plus souvent encore à l'état de sulfure, etc.; c'est ordinairement de ce dernier composé qu'on l'extrait. Pour cela, on bocarde, on lave et l'on grille convenablement ce sulfure, qui passe en grande partie à l'état d'oxide et de sulfate; puis on le traite, à une température élevée, par des scories de fer ou de la grenaille de fonte, celles-ci s'emparent de l'oxigène et du soufre pendant que le plomb se réduit.

On fait avec le plomb divers ustensiles, des chaudières; il entre dans la composition de la soudure des plombiers, des caractères d'imprimerie; on s'en sert pour l'exploitation des mines d'or et d'argent, etc., etc. Enfin il entre dans la composition de beaucoup de médicaments.

Nous n'avons pas parlé des autres métaux de cette section, parce qu'ils offrent réellement trop peu d'intérêt.

Métaux de la 5e section.

Parmi les métaux de cette section, le seul qui mérite de nous occuper est le mercure; nous passerons donc les autres sous silence.

MERCURE. (*Vif-argent.*)— C'est l'un des métaux le plus anciennement connus. Il est liquide, très brillant, blanc-bleuâtre; d'une densité de 13,568. Il bout à 350° et se volatilise même à la température de 20 à 25°, aussi peut-on le purifier par la distillation. Soumis à un froid de 39 à 40°, il se solidifie et cristallise en octaèdre; il peut alors aisément être aplati sous le marteau et son contact avec nos organes nous fait éprouver une sensation analogue à la brûlure.

Le mercure ne s'oxide qu'à un degré voisin de son point d'ébullition. Parmi les métalloïdes, le soufre, le sélénium, l'iode, le brome, le chlore, se combinent facilement avec lui; le phosphore, au contraire, s'unit difficilement au mercure. Les métaux, pour la plupart, se combinent avec le mercure, et forment des combinaisons qu'on nomme *amalgames*.

On trouve le mercure sous divers états : natif, chloruré, sulfuré ou combiné à l'argent, mais c'est surtout à l'état de sulfure qu'on le rencontre fréquemment.

Pour l'obtenir, on chauffe convenablement le sulfure avec de la chaux éteinte, dans des cornues de fonte; bientôt le mercure mis à nu se volatilise, tandis que le soufre et la chaux forment du sulfate de chaux et du sulfure de calcium fixes.

On s'en sert pour la construction des thermomètres et des baromètres, pour celle des cuves hydrargyro-pneumatiques pour recevoir les gaz solubles dans l'eau ; il sert à étamer les glaces, à extraire l'or et l'argent de leur gangue. Enfin en médecine, il est employé dans beaucoup de préparations anti-vénériennes.

Métaux de la 6e *section.*

Les métaux de la sixième section n'absorbent l'oxigène à aucune température, et ne décomposent l'eau ni à chaud, ni à froid. La chaleur seule réduit leur oxide.

ARGENT. — Connu de toute antiquité, c'est un corps solide, blanc, très brillant, susceptible d'un très beau poli, très malléable, très ductile. Sa tenacité est considérable. Sa pesanteur spécifique est de 10,4743. Il fond un peu au-dessus du rouge cerise. Il se volatilise à une forte température.

L'air et l'oxigène secs ou humides ne l'attaquent pas à la température ordinaire. Suivant M. Samuel Lucas, l'argent, mis en contact avec l'oxigène à une température élevée, absorbe l'oxigène et le conserve tant qu'il est fondu, mais en se refroidissant il l'abandonne et perdrait même celui qu'il contiendrait s'il était oxidé. On parvient pourtant à oxider l'argent au moyen de la pile électrique ou au moyen du chalumeau à gaz.

Tous les métalloïdes, excepté l'hydrogène, le bore et l'azote, ont été unis à l'argent. La plupart des métaux peuvent se combiner à l'argent et former des alliages qui sont assez usités.

On trouve l'argent : 1° à l'état natif; 2° combiné avec l'antimoine, le mercure ou l'arsenic; 3° combiné avec le soufre et l'iode; 4° enfin à l'état de chlorure et de carbonate. On extrait l'argent de la manière suivante : quand la mine consiste en de l'argent natif, on broie la mine avec du mercure, celui-ci se combine et forme avec l'argent un amalgame que l'on chauffe dans un appareil distillatoire, le mercure se volatilise et l'argent reste. Si la mine était formée d'argent sulfuré, il faudrait la griller et l'allier au plomb, puis traiter l'alliage par la coupellation.

En raison de la propriété qu'a l'argent d'être inaltérable, on

en fait une foule de vases et de bijoux; il forme la majeure partie de notre monnaie. En médecine on l'emploie à l'état d'azotate.

OR. — Connu de tout temps, l'or est un métal solide, jaune, très brillant, inodore, insipide. C'est le plus ductile et le plus malléable de tous les corps. Réduit en lame de 0 m. 00009 d'épaisseur, il est transparent et laisse passer une lumière d'un vert bleuâtre. Il est très tenace et peu dur. Sa pesanteur spécifique = 19,257. Il est moins fusible que l'argent. Il n'est pas volatil.

L'oxigene et l'air ne l'altèrent nullement, soit à chaud, soit à froid. Quelques chimistes pensent que par une forte décharge électrique on parvient à l'oxider; du moins l'or, soumis à cette influence, se transforme-t-il en une poudre purpurine, qui pourrait bien n'être que de l'or divisé.

Tous les métalloïdes ont été unis à l'or, à l'exception du bore, du silicium, du carbone et de l'azote. Un grand nombre de métaux peuvent se combiner à l'or, et former des alliages dont quelques uns offrent de l'intérêt.

L'or ne se trouve qu'à l'état natif, ou combiné avec un peu d'argent, de cuivre et de fer. On le rencontre assez souvent dans des sables qui portent, à cause de cela, le nom de *sables aurifères*. Pour l'obtenir, on lave les sables aurifères, et l'on en sépare l'or que l'on amalgame, et que l'on sépare du mercure par la distillation. Quand l'or est engagé dans une gangue, on la broie avec du mercure qui s'amalgame à l'or. On soumet ensuite l'amalgame à la distillation.

L'or sert à faire des vases et des bijoux plus précieux que ceux que l'on fait en argent; il est employé à la fabrication de nos monnaies. En le précipitant de sa dissolution nitro-hydrochlorique par le chlorure d'étain, on obtient le *pourpre de Cassius*, et en traitant la même dissolution par le sulfate de protoxide de fer, on obtient la poudre d'or, avec laquelle on dore la porcelaine.

PLATINE. — Connu vers l'année 1735; c'est un corps solide, presque aussi blanc que l'argent, très brillant, très ductile et très malléable; il est très mou, au point que l'ongle peut le rayer. Sa ténacité est grande, et sa pesanteur spécifique de 21,53, pesanteur plus grande que celle de tous les corps connus. Il n'est fusible qu'à l'aide du chalumeau à gaz.

L'oxigène et l'air n'ont aucune action sur lui, ni à froid, ni

à chaud. Cependant, au moyen d'une forte décharge électrique, on parvient à l'oxider.

Le bore, le soufre, le sélénium, le phosphore, l'iode, le brome et le chlore, se combinent facilement au platine; il en est de même de la plupart des métaux : on remarque surtout que l'iridium et l'osmium le rendent très dur.

Nous ne reviendrons pas sur la propriété qu'il a d'enflammer l'hydrogène lorsqu'il est réduit en éponge (voy. art. hydrogène). Nous dirons seulement ici que M. Liébig a reconnu au *noir de platine* (platine en poudre) la propriété d'absorber les gaz à la manière du charbon.

On ne trouve le platine qu'en combinaison avec le fer, le plomb, le cuivre, et avec le rhodium, l'iridium, le palladium, l'osmium, etc. Pour l'isoler, on dissout ces combinaisons dans l'eau régale. On verse ensuite du chlorhydrate d'ammoniaque dans la dissolution; il se fait aussitôt un précipité formé de chlorure de platine et de chlorhydrate d'ammoniaque. On le recueille et on le calcine; par cette opération, le chlorhydrate d'ammoniaque ainsi que le chlore du chlorure se dégagent, et laissent pour résidu le platine à l'état spongieux. Il est assez difficile de le forger; cependant, en l'alliant à un peu d'arsenic qui le rend un peu plus fusible, on n'a plus qu'à le chauffer convenablement au contact de l'air pour faire passer l'arsenic à l'état d'acide arsénieux qui se volatilise, pendant que le platine qui reste a acquis la propriété de se laisser forger.

Le platine, en raison de son inaltérabilité et de son infusibilité, est précieux pour la préparation de différents instruments employés dans les laboratoires de chimie. On s'en sert pour faire la lumière des canons de fusils, et pour revêtir le fond des bassinets.

CHAPITRE VII.

DES ALLIAGES.

17° ÉTUDE GÉNÉRALE. — INSISTER SUR LA DURETÉ QUE PRENNENT LES MÉTAUX EN S'ALLIANT; SUR LA DÉCOMPOSITION DES ALLIAGES PAR LA CHALEUR LORSQU'ILS SONT FORMÉS DE MÉTAUX FIXES ET DE MÉTAUX VOLATILS, OU DE MÉTAUX DONT LES DEGRÉS DE FUSION SONT TRÈS DIFFÉRENTS; SUR LES PHÉNOMÈNES QUE PRÉSENTENT LES ALLIAGES DANS LEUR CONTACT AVEC L'AIR A UNE TEMPÉRATURE ÉLEVÉE; ENFIN, SUR LA PROPRIÉTÉ QUE POSSÈDENT LES MÉTAUX DE S'UNIR EN TOUTE PROPORTION. INDIQUER ENSUITE LA COMPOSITION OU LA NATURE DES AMALGAMES, DU BRONZE, DU MÉTAL DES CLOCHES, DU TAM-TAM, DE L'ÉTAMAGE, DU FER-BLANC, DU MOIRÉ, DE LA SOUDURE DES PLOMBIERS, DES CARACTÈRES D'IMPRIMERIE, DU CUIVRE JAUNE, DES MONNAIES D'ARGENT, D'OR, DE BILLON, DE L'ALLIAGE FUSIBLE DANS L'EAU BOUILLANTE.

Nous avons vu que les métaux pouvaient se combiner les uns avec les autres, et que les composés qui en résultaient portaient le nom d'*alliages*. Quand le mercure entre en combinaison avec un métal, on lui donne toujours le nom d'*amalgame*.

Les chimistes ne sont pas d'accord pour savoir si les métaux se combinent entre eux pour former des combinaisons définies, comme cela a lieu pour les oxides, les sels, etc. Les uns admettent qu'ils se combinent en proportions déterminées; les autres, au contraire, veulent que la combinaison se fait en toutes proportions. Cependant on peut croire que les alliages cristallisés sont formés d'après la loi qui préside à la combinaison de tous les corps.

Les alliages offrent la plupart des propriétés physiques communes aux métaux; tous sont solides, à l'exception de l'alliage de potassium et de sodium, et des amalgames avec excès de

mercure; ils sont brillants, à moins qu'ils ne soient en poussière trop fine; ils ont une couleur qui leur est propre; ils sont opaques, et possèdent une densité qui participe de celle des métaux constituant l'alliage; tous cristallisent plus ou moins bien. Quelques uns ont une odeur particulière; d'autres sont très sonores et très élastiques. Comme les métaux, ils conduisent très bien le calorique et le fluide électrique.

Une propriété remarquable des alliages, c'est d'être plus durs, plus cassants, plus aigres et moins ductiles que ne le sont, terme moyen, les métaux qui les composent. On peut dire, en général, que les alliages formés par des métaux cassants le sont aussi sans exception; que ceux qui sont formés par un métal ductile et un métal cassant sont cassants quand les deux métaux sont en proportions égales, et qu'ils ne participent au contraire des propriétés d'un métal ductile que quand celui-ci y est très prédominant. Les métaux ductiles donnent eux-mêmes, en se combinant, lieu à des alliages cassants, à moins que l'un des deux métaux ne soit le plus souvent très prédominant. Il paraît que les métaux, en s'unissant, diminuent ou augmentent de volume, en sorte que leur densité est très variable.

Soumis à l'action du feu, les alliages s'échauffent rapidement, se dilatent et entrent en fusion. On remarque que l'alliage est toujours plus fusible que le métal le moins fusible qui le compose. Quand les métaux qui servent à le former sont fusibles à peu près au même degré, l'alliage est toujours plus fusible que celui qui se fond le plus promptement. Les alliages qui contiennent des métaux volatils se décomposent toujours en tout ou en partie, quand on les soumet à l'action d'une température élevée. Ainsi les amalgames perdent leur mercure totalement, pendant que les alliages d'arsenic, de potassium, de tellure, de cadmium, de zinc, ne se décomposent qu'en partie.

L'oxigène et l'air agissent sur les alliages comme sur leurs métaux séparés, seulement l'action est moins vive. Si l'un des deux métaux est très oxidable, et que l'autre ne le soit pas, on peut très facilement les séparer en oxidant le premier; exemple, plomb et argent.

Plusieurs alliages se trouvent naturellement formés. On les prépare en fondant les métaux dans un creuset, et agitant le mélange après sa fusion. On coule ensuite l'alliage dans des moules ou dans une lingotière.

Quand le potassium ou le sodium entre dans la combinaison,

on le place au fond d'un tube où doit se faire la combinaison, et on le recouvre des autres métaux; on chauffe ensuite graduellement le tube.

Beaucoup d'alliages sont usités dans les arts; nous détaillerons leurs usages, en parlant des plus employés.

AMALGAME D'ÉTAIN. — Il est liquide, un peu moins coulant que le mercure; la chaleur le décompose. Il n'absorbe que difficilement l'oxigène, et s'obtient en chauffant une partie d'étain et une de mercure.

Une partie d'étain et trois de mercure donnent un amalgame mou, facilement cristallisable. Parties égales donnent un amalgame solide.

On se sert de cet amalgame pour faire les glaces; à cet effet, on étend sur une table bien horizontale une feuille d'étain; puis on verse dessus une certaine quantité de mercure. On glisse alors une glace de manière à couper la couche de mercure en deux, et enfin on la charge de poids. L'amalgame, en se formant, adhère fortement aux parois de la glace, et lui donne la propriété de réfléchir les objets.

AMALGAME DE BISMUTH. — En partie liquide et en partie cristallisé, fondant facilement, s'attachant aux corps qu'il touche, se décomposant par la chaleur, et s'obtenant comme le précédent.

Il est employé à étamer les globes de verre. On y parvient en fondant ensemble une partie de bismuth et quatre parties de mercure, le versant encore chaud dans les globes bien secs et encore chauds, et promenant l'amalgame sur toutes les parties du globe. Une portion se solidifie, et produit un bel étamage.

BRONZE. — C'est un alliage formé de onze parties d'étain et de cent de cuivre; il est solide, jaunâtre, plus dense que la moyenne des deux métaux. Plus tenace, plus dur et plus fusible que le cuivre, sans action sur l'oxigène à la température ordinaire; mais se recouvrant à l'air humide d'une couche de carbonate basique, comme on le voit sur les statues de bronze.

On l'emploie à faire les canons et les statues.

MÉTAL DES CLOCHES. — Solide, à grains fins et serrés, d'un blanc gris, cassant, très sonore, se comportant avec l'oxigène comme le précédent, s'obtient en fondant ensemble 22 parties d'étain et 78 parties de cuivre, puis coulant l'alliage liquide pour lui donner la forme convenable. Les cloches an-

glaises sont composées de 80 parties de cuivre, de 5, 6 de zinc, de 4, 3 de plomb, et de 10, 1 d'étain.

TAM-TAM OU GONG. — Plus sonore que le précédent, s'emploie à faire les cymbales, les timbres d'horloges, les miroirs métalliques, et enfin l'instrument d'où il tire son nom.

On l'obtient en alliant 20 parties d'étain et 80 parties de cuivre. Cet alliage devient malléable par la trempe.

CUIVRE ÉTAMÉ. — Il n'est autre que du cuivre sur lequel on a appliqué une couche très mince d'étain. Pour y parvenir, on chauffe la pièce à étamer, et on la frotte avec une étoupe après l'avoir saupoudrée de sel ammoniac qui la décape; alors on chauffe de nouveau le cuivre, et on étend dessus une couche d'étain fondu, que l'on peut recouvrir de résine, afin que l'étain ne s'oxide pas. On doit continuer de frotter jusqu'à ce que l'étain soit bien étendu.

Dans cet étamage, l'étain ne s'allie point au cuivre; il n'est tout simplement que superposé, de là vient qu'il ne dure pas très long-temps.

L'étain, uni à 1/8 de fer, forme un étamage plus solide que l'étain pur.

FER-BLANC. — Ce n'est autre chose que du fer réduit en feuilles, dont les deux surfaces sont recouvertes d'une couche d'étain. A cet effet, on désoxide la lame de fer; on la plonge dans un bain de suif, puis dans un bain d'étain couvert de suif fondu; on n'a plus alors qu'à faire quelques opérations, dont le but est de rendre plus égale la couche d'étain qui le recouvre.

Lorsque l'on expose pendant quelque temps une feuille de fer-blanc à l'action d'une liqueur formée d'acide chlorhydrique 3 parties, d'acide azotique 2 parties, et d'eau 8 parties, puis qu'on la lave, on obtient un produit qui est connu sous le nom de *moiré métallique*. Dans cette opération, on ne fait que dissoudre la couche superficielle d'étain qui recouvrait les couches formées par une multitude de cristaux. Pour obtenir les moirés de diverses couleurs, il suffit de recouvrir les feuilles d'un vernis de la couleur de celle qu'on désire. On préserve en même temps la feuille de toute oxidation.

SOUDURE DES PLOMBIERS. — Cet alliage est solide, blanc-gris, malléable, plus fusible que l'étain, brûle facilement dans l'air, à la chaleur rouge, et se convertit en *stannate de*

plomb. On l'obtient en fondant ensemble 1 partie d'étain et 2 de plomb; on l'emploie pour souder les tuyaux de plomb.

ALLIAGE D'ANTIMOINE ET DE PLOMB. (*Caractères d'imprimerie.*) — Solide, malléable, beaucoup plus dur que le plomb, fusible au-dessous du rouge cerise, absorbe l'oxigène à une température élevée, en formant un *antimonite de plomb.* On l'obtient en fondant 20 parties d'antimoine et 80 de plomb; quelquefois on y ajoute quelques centièmes de cuivre. On s'en sert pour faire les caractères d'imprimerie.

CUIVRE JAUNE. (*Laiton.*) — Cet alliage est jaune, très malléable et très ductile à froid, fragile au-dessous du rouge obscur, plus fusible que le cuivre. Exposé à un violent feu de forge, il perd presque tout le zinc qu'il contient. Il s'oxide à une température élevée.

On le prépare en alliant 2 parties de cuivre avec 1 partie de zinc. Dans une autre espèce de laiton, on fait entrer 2 à 3 centièmes de plomb, ce qui le rend plus convenable pour les ouvrages faits au tour.

Le laiton est employé pour faire la plupart des instruments de physique, différents vases de chimie, etc.

ALLIAGES D'ARGENT ET DE CUIVRE.—Les différents alliages de cuivre et d'argent employés sont blancs, moins ductiles et plus fusibles que l'argent, n'absorbant l'oxigène qu'à une température élevée, et alors le cuivre s'oxide, tandis que l'argent reste pur. Pour l'obtenir, on fond dans un creuset 9 parties d'argent et 1 de cuivre.

C'est avec cet alliage qu'on fait en France toute la monnaie d'argent.

Si, au lieu des proportions précédentes, on emploie 4 parties de cuivre sur une d'argent, on obtient l'argent ou la monnaie de *billon.* Celui que l'on emploie pour les ouvrages d'orfèvrerie est formé de 9 parties et demie d'argent et d'une demi-partie de cuivre, quand on doit en faire des couverts et de la vaisselle, au lieu que celui que l'on destine à la fabrication des bijoux, etc., est formé de 8 parties d'argent et de 2 de cuivre.

Les différentes quantités d'argent qui composent l'alliage constituent son *titre*, qui est d'autant plus élevé que l'alliage est plus riche en argent. Ainsi on dit de l'argent de monnaie qu'il est au titre de 900/1000; celui de billon au titre de 200/1000, et celui qu'emploient les orfèvres, tantôt au titre de 950/1000, tantôt à celui de 800/1000.

ALLIAGE D'OR ET DE CUIVRE. — D'un beau jaune d'or, moins ductile, plus dur et plus fusible que l'or, n'absorbe l'oxigène qu'à une haute chaleur, alors le cuivre s'oxide et l'or s'épure. On l'obtient en fondant ensemble 9 parties d'or et 1 de cuivre C'est le seul titre qui soit employé à la fabrication de la monnaie d'or. Quant aux vases et ornements d'or, les titres varient : ainsi les uns sont à celui de 920/1000, les autres de 840/1000, enfin d'autres à celui de 750/1000; d'où 3 titres pour les ouvrages d'or, pendant que ceux d'argent n'en ont que deux.

VERMEIL. — On donne le nom de vermeil à de l'argent que l'on a doré avec un amalgame d'or. On fait avec lui une foule de vases, de couverts, etc.

ALLIAGE FUSIBLE DANS L'EAU BOUILLANTE. — Cet alliage est d'un gris de plomb; fusible à 90 degrés, par conséquent, dans l'eau bouillante ou la vapeur. Pour l'obtenir, il suffit d'unir par la fusion 3 parties d'étain, 8 de bismuth et 5 de plomb. On s'en sert pour *clicher* les médailles. En y ajoutant un peu de mercure, il devient beaucoup plus fusible, et peut servir à faire des injections anatomiques.

CHAPITRE VIII.

DES OXIDES MÉTALLIQUES.

18° ET 19°. ÉTUDE GÉNÉRALE. — CLASSIFICATION; PRINCIPALES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES OXIDES; ACTION QU'EXERCENT SUR EUX LA CHALEUR, L'ÉLECTRICITÉ, LE FLUIDE MAGNÉTIQUE, L'HYDROGÈNE, LE CARBONE, LE CHLORE, LE POTASSIUM, L'EAU, LES ACIDES. — RAPPELER LES LOIS DE LEUR COMPOSITION; DONNER UNE IDÉE DE LA PRÉPARATION DE LA PLUPART DES OXIDES, EN FAISANT VOIR COMMENT ON PEUT SE LES PROCURER, SOIT EN COMBINANT LE MÉTAL A L'OXIGÈNE, SOIT EN LES EXTRAYANT DES SELS PAR LES BASES, OU DES AZOTATES, OU DES CARBONATES PAR LA CHALEUR.

Les oxides métalliques sont des combinaisons binaires qui résultent, comme l'indique leur nom, de la combinaison de l'oxi-

gène avec les métaux. Les anciens les connaissaient sous le nom de *chaux métalliques*, et les regardaient comme des métaux dépourvus de phlogistique que le charbon leur rendait par la calcination. Leur histoire, commencée par Lavoisier, a été complétée par plusieurs chimistes, parmi lesquels il faut citer MM. Davy et Berzélius.

Les oxides sont généralement divisés en autant de sections que les métaux, et d'après le même ordre que les métaux qu'ils ont pour radical. Cependant on peut encore les classer, d'après les propriétés qu'ils possèdent, en quatre classes bien distinctes.

1° Certains oxides jouissent de propriétés acides bien marquées, et se combinent très bien avec les bases; on leur a donné le nom d'acides métalliques; tels sont les acides arsénique, arsénieux, chromique, antimonique, antimonieux, tungstique, molybdique, etc.

2° D'autres oxides jouissent des propriétés basiques; ce sont les oxides proprement dits, et ceux-ci se combinent très bien aux acides.

3° Quelques uns ne se combinent ni aux bases ni aux acides: ils sont *neutres* ou *indifférents;* de là, le nom d'*oxides indifférents* qu'on leur a donné.

4° Enfin, il est des oxides qui ne se combinent aux acides qu'après avoir perdu une certaine quantité d'oxigène; on leur a donné le nom d'*oxides singuliers*, en raison de cette manière de se comporter avec les acides; tels sont les bi-oxides de manganèse, de baryum, le peroxide de potassium, de sodium, etc.

Ces différentes dénominations étaient utiles à connaître parce qu'on en fait souvent usage.

Les oxides sont solides, cassants, ternes, de couleur qui varie beaucoup; ils sont inodores et insipides, excepté ceux de la première section ou ceux qui sont solubles. Plus pesants que l'eau et moins que le métal qui les forme, à moins que ce ne soit le potassium ou le sodium. Aucun n'a d'action sur la teinture de tournesol; quelques uns la ramènent au bleu, si elle a été rougie par un acide. Les oxides de la première section et celui de magnésine verdissent le sirop de violette, et rougissent la couleur jaune du curcuma.

La chaleur agit de différentes manières sur les oxides: elle réduit ceux des deux dernières sections, elle n'altère pas ceux de la deuxième; parmi les oxides de la première, troisième et quatrième section, aucun ne peut être entièrement réduit par la

chaleur; seulement quelques uns perdent une portion d'oxigène, et passent à un degré inferieur d'oxidation; tels sont les bi-oxides de calcium, strontium, manganèse, plomb, sesqui-oxide de sodium, urane, cobalt, etc.; seulement la température à laquelle se fait cette déperdition varie. Aucun oxide n'est volatil, si ce n'est quelques oxides qui jouent le rôle d'acides, tels que le peroxide d'osmium et l'acide arsénieux. Cependant le protoxide d'antimoine est volatil. Il en est quelques uns qui se fondent facilement.

La lumière n'agit tout au plus que sur ceux de la sixième section, ce qui n'est pas bien démontré; on prétend pourtant que telle est l'action qu'elle exerce sur l'oxide d'or.

Tous les oxides peuvent être décomposés par une pile de 100 paires; dans ce cas, l'oxigène se dégage au pôle positif, et le métal réduit se rend au pôle négatif. Cependant les oxides de la deuxième section ne se réduisent qu'au moyen d'un appareil imaginé par M. Becquerel. Encore n'obtient-on le métal qu'à l'état d'alliage.

Parmi les oxides, il n'y a que le protoxide de fer et l'oxide de fer composé (FO, F^2O^3) qui soient sensibles à l'action de l'aiguille aimantée.

Les protoxides de cobalt, de fer, de manganèse et quelques autres peuvent absorber l'oxigène à la température ordinaire, et se suroxider, pourvu qu'ils soient hydratés; d'autres, tels que les protoxides de potassium, de baryum, etc., n'absorbent l'oxigène qu'à une température élevée; mais il faut que ce gaz soit bien sec. Beaucoup d'oxides, exposés au contact de l'air, absorbent de plus l'acide carbonique que ce fluide contient.

L'hydrogène ne réduit les oxides qu'à une haute température, encore n'a-t-il pas d'action sur les oxides terreux et sur les protoxides alcalins. Dans tous les cas il se forme de l'eau, et le métal est mis à nu. Remarquons qu'en réduisant les peroxides de potassium et de sodium, l'eau qui se forme se combine au protoxide pour constituer un *hydrate*.

Le carbone, à une température élevée, décompose tous les oxides métalliques, excepté ceux de la 2e section, et les protoxides de baryum, de strontium, de calcium et de lithium. Le carbone, en s'unissant à l'oxigène, forme ou de l'oxide de carbone, ou de l'acide carbonique, et toujours le métal est réduit. C'est même à l'aide de ce métalloïde et du précédent qu'on réduit dans les arts une bonne partie des métaux usités.

Le phosphore et le soufre ont deux manières d'agir, selon qu'on opère par la voie sèche ou la voie humide. Dans le premier cas, le métalloïde réduit une portion de l'oxide, s'empare de son oxigène pour former l'acide le plus oxigéné qui se combine avec l'oxide non décomposé, à moins que celui-ci ne soit décomposable à la température à laquelle on opère, pendant que le métal, réduit avec une portion de métalloïde, forme par cette union un *phosphure* ou un *sulfure*. Si l'on opère au contact de l'eau, la même décomposition se fait; mais au lieu des acides les plus oxigénés, il ne se fait avec le phosphore que peu d'acide phosphorique, et un hypo-phosphite; dans ce cas, l'eau est en même temps décomposée, de là un dégagement de sesqui-phosphure d'hydrogène. Si l'on a employé le soufre, on obtient un hypo-sulfite et un sulfure sulfuré ou polysulfure.

Les oxides de potassium, de sodium, de bismuth et de plomb, sont décomposés à sec et à une température élevée par l'iode, l'oxigène se dégage et l'iode s'unit au métal.

Les protoxides d'étain et de cuivre passent à l'état de peroxide, tandis qu'une portion de métal se combine à l'iode. Il paraît s'unir aussi à la baryte, la strontiane et la chaux, et être sans action sur les autres oxides.

Par l'intermède de l'eau, il se forme toujours un iodate aux dépens de l'oxigène de l'acide, et un iodure par la combinaison du métal réduit et d'une partie de l'iode.

Le chlore a, sur les oxides, une action qui mérite quelque attention. Si l'on fait passer un courant de chlore sur un oxide métallique, exposé dans un tube horizontal placé et porté au rouge, on remarque que l'oxigène est dégagé et que le chlore se substitue à sa place. Il ne paraît y avoir que les oxides de la 2e section qui soient exceptés de cette règle.

Si, au lieu d'agir ainsi, on fait passer un courant de chlore dans une eau tenant en dissolution ou en suspension un oxide, celui-ci sera en partie décomposé; son métal mis à nu formera un chlorure avec une portion de chlore; et son oxigène, s'unissant à une partie du chlore, formera de l'acide hypo-chloreux qui s'unira à l'oxide non décomposé. Si la dissolution est concentrée, ou si la chaleur s'élève pendant la réaction, alors une portion d'oxigène, au lieu de se combiner avec une nouvelle proportion de chlore pour former un hypo-chlorite, s'unira à l'acide hypo-chloreux déjà formé pour le faire passer à l'état d'acide chlo-

rique; de là la présence des chlorates dans les produits de ces sortes de réactions.

L'action des métaux sur les oxides métalliques dépend de leur affinité réciproque pour l'oxigène. Si donc le métal appartient aux premières sections, et l'oxide, au contraire, aux dernières, le métal pourra décomposer l'oxide, s'emparer de son oxigène et réduire l'autre métal : celui-ci, rendu libre, pourra, dans beaucoup de circonstances, se combiner au métal décomposant, si ce dernier s'y trouve en excès; il résulte de cela que le potassium, le sodium et les autres de la 1re section pourront décomposer tous les oxides, à l'exception de ceux de la 2e section. Quelquefois ces décompositions ne sont que partielles; c'est quand le métal décomposant ayant une affinité pour l'oxigène à peu près égale à celle du métal de l'oxide, cet oxide se trouve porté au *summum* d'oxidation, alors l'autre métal s'empare de l'excès d'oxigène. Cette décomposition partielle peut encore être sollicitée par une foule de causes que nous ne croyons pas devoir rapporter ici.

Parmi les oxides métalliques, il n'y a que ceux de la 1re section qui se dissolvent dans l'eau; les protoxides de fer, de manganèse et d'étain la décomposent, en s'emparant de son oxigène. Quelques uns, au contraire, se décomposent en s'y dissolvant : ce sont les peroxides de potassium et de sodium, et les bi-oxides de baryum, de strontium et de calcium.

Mais la plupart des oxides peuvent contracter des combinaisons avec l'eau et former des *hydrates*, sortes de sels dans lesquels l'eau joue le rôle d'acide, et formés dans de telles proportions, que l'oxigène de l'eau est en quantité égale à celle de l'oxigène que contient l'oxide. Ces combinaisons se font le plus souvent avec un dégagement de chaleur assez considérable, témoin la chaux que l'on éteint et qui développe, en se combinant à l'eau, une chaleur que l'on estime à plus de 300 degrés. L'eau, en se combinant avec un oxide, lui donne quelquefois une couleur bien différente, comme on en a des exemples dans l'hydrate de bi-oxide de cuivre, qui est bleu; dans celui de protoxide de cobalt, qui est bleu-violet; celui de protoxide de nickel qui est vert-pré, etc.

Tous les oxides métalliques *basiques* (1) se combinent avec

(1) Voir le commencement de cet article pour la division de oxides.

les acides et forment des sels que nous étudierons plus tard. L'action des hydracides, qui est particulière, a été suffisamment exposée plus haut, à l'article Hydracide. Nous n'y reviendrons donc pas.

Tous les oxides sont soumis, pour leur composition, à la loi des proportions multiples, comme nous l'avons démontré page 350. Supposant constante la quantité du métal, les quantités d'oxigène qui forment les différents oxides d'un même métal, sont ordinairement entre elles comme les nombres 1, 1 1/2, 2, 3, 4.

On ne trouve dans la nature qu'un petit nombre d'oxides à l'état libre, presque toujours on les trouve combinés à un acide ou à d'autres oxides.

Il existe plusieurs procédés pour obtenir les oxides:

1° En calcinant à l'air ou dans l'oxigène les métaux des quatre premières sections et le mercure ;

2° En décomposant un sel dissous dans l'eau par la potasse, la soude ou l'ammoniaque ; il faut pour cela que l'oxide soit insoluble;

3° En chauffant fortement un carbonate. Tous les oxides peuvent être obtenus par ce moyen, excepté ceux de potassium, de sodium et de baryum ;

4° En décomposant un nitrate par la chaleur : dans ce cas, l'acide nitrique se décompose en bi-oxide d'azote, ou acide hypo-azotique, et en oxigène qui se dégage ou se fixe sur l'oxide qu'il fait passer à un degré d'oxidation supérieur ;

5° On peut encore oxider un métal par l'acide nitrique; dans ce cas, on retombe dans les conditions du quatrième procédé ;

6° Enfin on peut obtenir quelques oxides suroxigénés, en décomposant un sel soluble au milieu de l'eau oxigénée, ou bien en mettant en contact l'oxide à l'état d'hydrate avec le bi oxide d'hydrogène.

20° ÉTUDE PARTICULIÈRE. — POTASSE, SOUDE, BARYTE, CHAUX, MAGNÉSIE, ALUMINE, AMMONIAQUE, etc.

PROTOXIDE DE POTASSIUM. (*Potasse, alcali végétal.*) — Il est connu depuis très long-temps; mais ce n'était que combiné à l'acide carbonique et d'autres sels. Berthollet, en 1786, parvint à le séparer des matières étrangères auxquelles il était

uni, et ce fut Davy qui montra le premier que c'était l'oxide du métal que nous avons nommé *potassium.*

Cet oxide est blanc, extrêmement caustique, plus pesant que le potassium; il verdit fortement le sirop de violette; sa fusion a lieu à la chaleur rouge. Il attire puissamment l'humidité et l'acide carbonique de l'air. Cet oxide n'est employé dans les arts et la médecine qu'à l'état d'hydrate.

HYDRATE DE PROTOXIDE DE POTASSIUM. (*Hydrate de potasse, potasse à l'alcool, pierre à cautère.*)—Blanc, solide, fusible au-dessous de la chaleur rouge; il est susceptible, dit-on, de se volatiliser. Sa densité est plus grande que celle de l'eau.

Exposé à l'air, il en attire l'humidité, l'acide carbonique, et se résout en liqueur. A une chaleur rouge, il peut absorber l'oxigène et se transformer en peroxide de potassium. Exposé à l'action de la pile, il est décomposé en potassium et en oxigène.

La potasse se rencontre dans les cendres des végétaux, combinée aux acides carbonique, sulfurique, chlorhydrique, etc.; dans les materiaux salpêtrés à l'état de nitrate, etc.

On prépare l'hydrate de potasse de la manière suivante : on prend du carbonate de potasse pur que l'on dissout dans l'eau, et on le traite par de la chaux vive réduite en poudre (1); celle-ci s'empare de l'acide carbonique du carbonate de potasse : on sépare le carbonate de chaux qui se dépose, tandis que la potasse passe à l'état de dissolution. On n'a plus qu'à évaporer à siccité pour obtenir l'hydrate de potasse, qui constitue la *pierre à cautère.* Pour séparer l'hydrate des sels étrangers qu'il contient, il faut le traiter par l'alcool concentré; quand la liqueur est évaporée jusqu'en consistance de sirop, alors on agite. L'alcool dissout l'hydrate de potasse pendant que les sels étrangers se déposent. On sépare la couche supérieure d'alcool qui est fortement colorée, et on l'évapore à siccité; on a alors la potasse à l'alcool.

Cet hydrate de potasse est formé de 1 atome de protoxide de potassium et 1 atome d'eau $= KO + H^2O$.

On se sert très souvent de la potasse; elle entre dans la composition du savon mou, de l'alun, du verre, du salpêtre, etc.; à

(1) M. Liébig s'est assuré que, si la dissolution était trop concentrée, la chaux, loin de décomposer le carbonate de potasse, céderait à la potasse de l'acide carbonique si elle en contenait; le contraire aura lieu si les liqueurs sont assez étendues.

l'état d'hydrate, on s'en sert pour ouvrir des cautères. C'est un réactif dont on fait souvent usage en chimie.

Les *sels de potasse* ont pour caractères les suivants : tous sont solubles dans l'eau. Les carbonates de potasse, de soude et d'ammoniaque ne les précipitent pas. Traités par la chaux, il n'y a point dégagement d'ammoniaque. Le chlorure de platine forme avec eux un précipité jaune-serin. Le sulfate d'alumine donne lieu à un précipité d'alun. Enfin, l'acide perchlorique y forme toujours un précipité blanc très peu soluble de perchlorate de potasse.

PROTOXIDE DE SODIUM. (*Soude, alcali minéral.*) — Il ressemble au protoxide de sodium, tant par ses propriétés physiques que par ses propriétés chimiques ; il s'en distingue facilement en ce que, exposé à l'air, il passe à l'état de carbonate, qui, au lieu de tomber en déliquescence, s'effleurit et tombe en poussière.

Également il est employé seulement à l'état d'hydrate. Cet hydrate, possédant les mêmes propriétés que celui de potasse, et s'obtenant par le même procédé, il est inutile de nous y arrêter.

On distingue *ses sels* de ceux de potasse, en ce que le sulfate d'alumine, le chlorure de platine et l'acide perchlorique ne les précipitent pas.

On trouve la soude dans la nature, mais toujours combinée aux acides carbonique, sulfurique, azotique, hydrochlorique, etc. Elle est employée à faire le savon solide, le verre, et à lessiver.

PROTOXIDE DE BARYUM. (*Baryte, terre pesante*). — La baryte est blanche, plus caustique que la strontiane, verdit fortement le sirop de violette, rougit la couleur de curcuma. Sa densité est de 4. Elle n'entre en fusion qu'à la chaleur produite par le chalumeau d'hydrogène et d'oxigène.

Chauffée dans le gaz oxigène, elle absorbe ce gaz et passe à l'état de bi-oxide : si on la calcine à l'air, elle passe d'abord à l'état de bi-oxide, puis se décompose bientôt, en absorbant l'acide carbonique et formant un carbonate de protoxide. A la température ordinaire, elle absorbe l'humidité de l'air en même temps que son acide carbonique. De là, la nécessité de la tenir dans des vases bien fermés.

Versée goutte à goutte sur un fragment de baryte, l'eau est absorbée vivement avec dégagement de chaleur qui peut aller jusqu'à l'incandescence : il se forme alors un hydrate.

L'eau dissout à la température ordinaire un vingtième de baryte, et un dixième à la température de l'ébullition.

La baryte ne se trouve qu'en combinaison avec l'acide carbonique, l'acide sulfurique, etc. Pour l'obtenir, on décompose dans un creuset de platine du nitrate de baryte; bientôt il se dégage de l'oxigène, de l'azote et de l'acide hypo-azotique, tandis que la baryte reste pure. On l'enferme aussitôt dans un flacon à l'émeri.

Elle est composée de 1 atome de baryum et 1 atome d'oxide = Ba O. La baryte n'est usitée que comme réactif.

Les *sels de baryte* sont blancs, à moins que l'acide ne soit coloré. Leurs dissolutions donnent, par les carbonates de potasse, de soude et d'ammoniaque, un précipité blanc de carbonate de baryte. Tous les sulfates ou l'acide sulfurique les précipitent instantanément; le précipité est insoluble dans l'acide nitrique. le sulfate de baryte insoluble, chauffé avec du charbon, donne lieu à un sulfure ayant une odeur d'œufs pourris qui devient plus sensible par l'addition d un acide.

PROTOXIDE DE CALCIUM. (*Chaux*, *chaux caustique.*) — La chaux est connue dès les temps les plus reculés. Elle est blanche, caustique; elle cristallise en hexaèdre, verdit fortement le sirop de violette, pesant 2,3. La plus forte chaleur ne l'altère pas; il en est de même de l'oxigène. Elle est décomposable par la pile. Exposée à l'air, elle en attire l'humidité, et l'acide carbonique augmente de volume, se délite et passe à l'état de carbonate. Lorsqu'on verse de l'eau goutte à goutte sur cet oxide, elle est absorbée et solidifiée avec dégagement de calorique, et la chaux se délite entièrement.

En plus grande quantité, l'eau peut dissoudre la 700ᵉ partie de son poids de chaux. Cette dissolution constitue l'eau de chaux médicinale. Ce que l'on nomme eau de chaux première ne diffère de l'eau de chaux seconde qu'en ce qu'elle tient en dissolution un peu de potasse provenant du bois qui a servi à calciner la chaux, ce qui rend cette eau plus caustique. L'acide sulfurique versé dans cette eau ne la trouble pas, parce que le sulfate qui se forme est plus soluble que la chaux. Une propriété remarquable de la chaux, c'est qu'elle est moins soluble à chaud qu'à froid, aussi peut-on l'obtenir cristallisée en chauffant la dissolution faite à froid.

L'eau de chaux a plusieurs applications dans les arts; on s'en sert pour gonfler les peaux et dans la fabrication du sucre.

La chaux se trouve dans la nature toujours combinée aux acides carbonique, sulfurique, azotique, etc. On l'obtient en calcinant le carbonate de chaux ordinaire. Pour les usages de la médecine et de la chimie, on choisit de préférence le marbre blanc, qui est un carbonate de chaux plus pur.

Tout le monde connaît les usages de la chaux; elle sert à chauler le blé, à la préparation de l'ammoniaque; mêlée avec le sable, elle forme les mortiers, etc., etc.

La chaux hydratée ou hydrate de chaux sert à la préparation de l'hypo-chlorite de chaux, le chlore n'ayant pas d'action sur la chaux vive.

Elle est formée d'un atome de calcium et d'un atome d'oxigène = Ca O. Les *sels de chaux*, solubles dans l'eau, sont précipités en blanc par les carbonates de potasse, de soude et d'ammoniaque; mais les meilleurs réactifs sont l'acide oxalique et l'oxalate d'ammoniaque qui forment un précipité blanc d'oxalate complétement insoluble.

OXIDE DE MAGNÉSIUM. (*Magnésie, magnésie pure, magnésie calcinée.*) — La magnésie est blanche, douce au toucher, verdissant le sirop de violettes, infusible, sans action sur l'oxigène, formant avec le chlore un chlorure, pourvu que la chaleur soit rouge, absorbant l'acide carbonique de l'air; sa pesanteur spécifique est de 2,3.

L'eau ne la dissout pas; mais elle peut se combiner avec elle, et former un hydrate que la chaleur rouge décompose.

La magnésie est formée d'un atome de magnésium et d'un atome d'oxigène = Mg O.

On ne trouve la magnésie que combinée avec les différents acides ou à l'état d'hydrate. On se la procure en décomposant une dissolution de sulfate de magnésie par du carbonate de potasse ou de soude, recueillant le précipité, le séchant et le calcinant pour chasser l'acide carbonique.

On se sert de la magnésie pour dissiper les aigreurs d'estomac et contre les empoisonnements par les acides.

Les *sels de magnésie* sont précipités en blanc par les carbonates de potasse et de soude, ils ne le sont point par les bi-carbonates des mêmes bases, à moins qu'on ne les chauffe, parce qu'alors la chaleur dégage l'excès d'acide carbonique qui retenait le carbonate en dissolution; il en est de même du carbonate d'ammoniaque. Ces sels ne sont troublés ni par les sulfures alcalins, ni par l'oxalate d'ammoniaque; l'ammoniaque les décompose à

moitié en formant un sel double d'ammoniaque et de magnésie. Le meilleur réactif est le phosphate d'ammoniaque qui forme un précipité blanc de phosphate ammoniaco-magnésien. Enfin, la potasse ou la soude caustique les précipitent sans qu'un excès d'alcali redissolve le précipité.

OXIDE D'ALUMINIUM. (*Alumine*, *terre alumineuse.*) — Blanc, doux au toucher, happant la langue, infusible, sans action sur l'oxigène, l'air et les corps combustibles : cet oxide est insoluble dans l'eau ; mais il en absorbe beaucoup en formant pâte. Il se combine non seulement aux acides ; mais encore avec les bases puissantes, telles que la potasse et la soude caustique, etc. Il contracte la propriété de ne se combiner que difficilement aux acides, quand on l'a fortement chauffé.

L'oxide d'aluminium se trouve rarement à l'état de pureté, il forme alors le saphir et le rubis ou corindon des minéralogistes. Le plus souvent, il se trouve à l'état de sel, ou combiné à d'autres oxides. Pour l'obtenir, on précipite par l'ammoniaque la dissolution d'un sel d'alumine, ordinairement l'alun. Il est formé de deux atomes d'aluminium et de trois atomes d'oxigène $= Al^2 O^3$.

Les *sels d'alumine* ont une saveur styptique et astringente. La potasse les précipite en blanc et le précipité se redissout dans un excès d'alcali. L'ammoniaque les précipite et un excès de réactif ne redissout pas le précipité. Les sulfates de potasse et d'ammoniaque en dissolution concentrée les précipitent à l'état d'alun : les proto-sulfures alcalins les précipitent en blanc avec dégagement d'acide sulfhydrique. Enfin chauffés au chalumeau avec l'azotate de cobalt, ils prennent une belle couleur bleue.

AMMONIAQUE, AZOTURE D'HYDROGÈNE. (*Alcali volatil*, *alcali fluor*, *esprit de sel ammoniac.*) — Après que Davy eut reconnu que la potasse et la soude étaient des oxides métalliques, il pensa que l'ammoniaque, qui jouait le même rôle que la potasse, devait être aussi l'oxide d'un métal particulier, auquel il proposa de donner le nom d'*ammonium ;* mais toutes les recherches possibles n'ont pu le faire découvrir. M. Berzélius, qui adopta d'abord cette opinion, proposa ensuite le nom d'*ammonium* à une combinaison d'azote et d'hydrogène, qui, dans beaucoup de circonstances, en effet, joue le rôle d'un métal. Cette combinaison $= Az\ H^4$.

L'ammoniaque est un gaz incolore, transparent, d'une saveur

âcre et caustique, d'une odeur piquante caractéristique, qui provoque les larmes ; sa pesanteur spécifique = 0,591 ; elle verdit fortement le sirop de violettes.

L'ammoniaque résiste à la plus forte chaleur; au contraire, un grand nombre d'étincelles électriques la décompose. Exposée à — 48°, elle se fige et devient opaque.

L'oxigène et l'air ne la décomposent qu'à une température élevée : d'où résultent de l'eau, un peu d'acide nitrique et de l'azote libre.

Le carbone absorbe 90 mesures de ce gaz; mais à une température élevée le carbone le décompose en donnant naissance à du gaz carbure d'hydrogène, etc., une substance d'odeur d'amandes amères, probablement de l'acide cyanhydrique.

Le soufre le décompose à chaud, en formant tout-à-coup un mélange d'azote et d'hydrogène gazeux, de sulfhydrate et de sulfhydrate sulfuré d'ammoniaque cristallisés.

L'iode le décompose de suite, il se forme un liquide visqueux, d'un aspect métallique, qu'on nomme *iodure d'ammoniaque ;* cet iodure, continuant d'absorber de l'ammoniaque gazeuse, perd son éclat et sa viscosité. Si l'on verse de l'eau sur ce composé, il se forme sur-le-champ une poudre noire qui est l'iodure d'azote dont il a été déjà question.

Le chlore décompose l'ammoniaque, soit que l'un et l'autre soient à l'état de gaz, soit qu'ils soient en dissolution : il en résulte toujours de l'azote pur qui se dégage, de l'acide chlorhydrique qui, se combinant à de l'ammoniaque, forme du sel ammoniac; seulement, dans le premier cas, la décomposition se fait avec dégagement de calorique et de lumière.

Plusieurs métaux à une température élevée décomposent le gaz ammoniac, tels sont le fer, le cuivre, l'argent, le platine et l'or; mais les deux premiers jouissent de cette propriété à un plus haut degré. Si l'on fait cette décomposition dans un tube de porcelaine incandescent, en faisant traverser le gaz ammoniac, on remarquera qu'il se dégage du gaz azotique et de l'hydrogène. De plus, selon M. Despretz, le fer et le cuivre absorbent un peu d'azote et deviennent cassants; les trois autres métaux n'augmentent pas de poids.

Si l'on chauffe du gaz ammoniac avec du potassium ou du sodium, ces métaux décomposent le gaz en dégageant un volume d'hydrogène égal à celui qu'ils auraient dégagé de l'eau, l'azote s'unit au métal, forme un azoture, lequel entre lui-même en

combinaison pour former un corps qu'on appelle *azoture ammoniacal de potassium ou de sodium.* Mais de tous les métaux celui qui offre les phénomènes les plus curieux est le mercure; uni au potassium ou au sodium, et mis en contact avec une dissolution de gaz ammoniac ou une dissolution d'un sel ammoniacal, on ne tarde pas à voir l'amalgame quintupler et même sextupler de volume et prendre la consistance de beurre en conservant son brillant métallique. Le même phénomène se passe avec du mercure seul, mais en se servant de l'influence de la pile. Dans tous les cas, il se forme le composé $Az\,H^4$ (ammonium), qui, jouant le rôle de métal, constitue avec le mercure un amalgame d'ammonium. En effet, soit que l'on se serve de potassium, soit que l'on emploie la pile, une certaine quantité d'ammoniaque est décomposée, de manière que son hydrogène à l'état naissant se combine avec de l'ammoniaque pour former le corps en question.

L'ammoniaque, décomposée par l'étincelle électrique et analysée par l'oxigène, a montré une composition égale à un atome d'azote et trois atomes d'hydrogène $= Az\,H^3$.

L'eau dissout à la température ordinaire 430 fois son volume de ce gaz, et cette dissolution, dont les propriétés ressemblent à celles de l'ammoniaque, porte le nom d'*ammoniaque liquide.* Pour se la procurer, on se sert de l'appareil de Woulf. On met de l'eau dans les flacons jusqu'à moitié, et l'on y fait arriver un courant de gaz ammoniac; la combinaison se fait avec dégagement de chaleur, de là la nécessité de refroidir le vase où se fait la dissolution.

L'ammoniaque ne se trouve dans la nature qu'à l'état de combinaison, dans les excréments de chameaux, dans les urines et dans la plupart des matières animales putréfiées.

On ne l'emploie jamais qu'en dissolution, alors on l'administre comme stimulant, en chimie on s'en sert comme réactif.

On obtient le gaz ammoniac en chauffant parties égales de chaux vive et de chlorhydrate d'ammoniaque; la chaux s'empare de l'acide chlorhydrique, forme de l'eau et un chlorure, pendant que l'ammoniaque se dégage. On le reçoit sur le mercure.

SELS AMMONIACAUX. — L'ammoniaque est une base très énergique, qui rivalise avec les oxides métalliques de la première section. Elle forme avec les acides des sels qui offrent quelques propriétés particulières.

Tous les sels ammoniacaux sont sans couleur, à moins que l'acide ne soit coloré; ils ont tous une saveur piquante, presque tous cristallisent. Exposés au feu, presque toujours les sels sont décomposés. Si l'acide est fixe, comme l'acide phosphorique, l'ammoniaque se dégage et l'acide reste libre. Si l'acide n'est pas fixe il est le plus souvent décomposé en même temps que l'ammoniaque elle-même. Enfin, si l'acide est volatil, le sel lui-même se volatilise, cependant quelquefois il change d'état de saturation. L'eau dissout tous les sels ammoniacaux et la dissolution n'est précipitée ni par les carbonates de potasse, de soude et d'ammoniaque, ni par les sulfhydrates, ni par le cyanhydrate de potasse; le chlorure de platine y forme une précipité jaune serin, et le sulfate d'alumine y détermine un précipité cristallin. Enfin, triturés avec de la potasse ou de la soude, ils dégagent tous du gaz ammoniaque.

Les sels ammoniacaux neutres sont composés d'un atome d'acide et de deux atomes d'ammoniaque.

On emploie seulement le carbonate, le sulfate, le chlorhydrate, le sulfhydrate et l'acétate d'ammoniaque.

CHAPITRE IX.

DES SELS.

21° et 22°. ÉTUDE GÉNÉRALE; NATURE DES SELS; LEUR DIVISION EN FAMILLES; GENRES ET ESPÈCES; PROPRIÉTÉS QU'ONT LES OXIDES DE S'UNIR EN DIVERSES PROPORTIONS AVEC LE MÊME ACIDE; LOIS AUXQUELLES LES SELS SONT SOUMIS DANS LEUR COMPOSITION; CONSÉQUENCES IMPORTANTES QU'ON EN TIRE POUR L'ANALYSE; ACTION DE L'EAU, DE LA GLACE SUR LES SELS; FROIDS ARTIFICIELS; ACTION HYGROMÉTRIQUE DE L'AIR; SELS EFFLORESCENTS, DÉLIQUESCENTS, etc.

Pour qu'un métal puisse se combiner aux acides, il faut toujours qu'il soit à l'état d'oxide, la combinaison qui en résulte

porte le nom général de *sel;* mais comme il n'y a pas que les oxides qui puissent se combiner avec les acides, qu'au contraire l'ammoniaque, les acalis végétaux, quinine, morphine, etc., se combinent aussi aux acides, on a étendu le nom de sel à ces combinaisons, et aujourd'hui on entend par sel, le composé qui résulte de la combinaison d'un acide avec une base salifiable.

M. Berzélius, considérant que lorsqu'on met en contact un hydracide avec un oxide métallique, il se forme toujours un corps binaire possédant les mêmes propriétés; et, dans la plupart des cas, les mêmes réactions que les sels, donne au mot *sel* une extension plus grande, de là pour lui deux ordres de sels: 1° les sels binaires, qui, en dissolution dans l'eau, peuvent être considérés comme des sels ternaires; 2° les sels ternaires.

Donnant le nom de *corps halogènes* aux métalloïdes, qui, en se combinant immédiatement à un métal, donnent naissance à des composés binaires ayant les propriétés des sels, il désigne ceux-ci sous le nom de *sels haloïdes*.

Le chlore, par exemple, est un corps halogène qui, en se combinant au sodium, forme le sel marin, *sel haloïde*, qu'il serait difficile de ne pas considérer comme un sel.

Il appelle, au contraire, *sels amphides*, les sels qui résultent de la combinaison de deux corps binaires, comme un acide avec un oxide, un sulfure basique avec un sulfure acide, un séléniure basique avec un séléniure acide, etc.

Ceci défini, montrons que les sels haloïdes se comportent comme les autres sels, et prenons pour exemple le chlorure de sodium: en effet, dissous dans l'eau ou seulement mis en contact avec une petite quantité d'eau et traité par l'acide sulfurique, il se fait un dégagement d'acide chlorhydrique, et il se forme du sulfate de soude. D'un autre côté, si l'on dissout du chlorure de magnésium, et si, à cette dissolution, on ajoute de la potasse ou de la soude, il se fait un précipité d'oxide de magnésium, d'où il faut conclure que les chlorures offrent des réactions semblables aux sels seulement quand ils sont en présence d'un petite quantité d'eau. Ces propriétés ont fait élever des discussions tendant à prouver que ces sortes de sels dissous devaient ou ne devaient pas être considérés comme des combinaisons d'oxides et d'hydracides. Comme ce serait nous écarter de notre but que d'entrer dans des discussions de cette nature, nous allons nous borner à démontrer que, selon que l'on envisage l'une ou l'autre manière de voir, la théorie n'en reste pas moins bien claire

et bien satisfaisante. Soit en effet le chlorure de sodium dont

la formule est Na. Ch^2 plus un atome d'eau dont
la formule est O. H^2 ;

on voit tout de suite, par cette disposition, que selon qu'on veut que l'eau soit ou ne soit pas décomposée, on a un chlorhydrate ou un chlorure. Ce que nous venons dire des chlorures, peut aussi bien se dire des fluorures, iodures, bromures, cyanures, sulfures, solubles, etc.

Ce qui va suivre s'appliquera plus spécialement aux sels amphides oxigénés, quoique l'on puisse, dans beaucoup de cas, en faire l'application à tous les autres sels.

Nous avons vu, en traitant de la nomenclature, que les sels étaient *neutres*, *acides* ou *basiques*.

Long-temps on a dit qu'un sel était neutre quand sa dissolution ne rougissait ni ne verdissait le sirop de violette; que tous ceux qui le rougissaient étaient acides ou à l'état de *sur-sel*, et que ceux qui le verdissaient étaient basiques; mais cette manière de déterminer l'état de saturation d'un sel est très rarement exacte, et il en résulte que souvent on considérait comme sel acide ou comme sel basique, un sel véritablement neutre. En effet, la neutralité est une propriété relative, qui dépend de l'affinité de l'acide pour l'oxide, et l'on doit considérer comme neutre, l'état de saturation dans lequel l'acide et l'oxide perdent le plus leurs propriétés.

Mais si, au lieu de procéder ainsi pour déterminer la neutralité d'un sel, on les distingue d'après leur composition, qui, comme nous le verrons, est soumise à des lois remarquables, il est évident que l'on aura une manière sûre de trouver la neutralité d'un sel. En effet, supposons que nous ayons un acide énergique, l'acide sulfurique, et une base puissante, la potasse : en mêlant convenablement ces deux corps, il arrivera un point où le mélange n'aura aucune action sur le sirop de violettes, alors la combinaison sera neutre, et le sel obtenu sera le sulfate neutre de potasse. Maintenant en chauffant ce sulfate au rouge obscur avec un excès d'acide sulfurique, on obtiendra un sel qui rougira le sirop de violettes, ce sera le sulfate acide ou bi sulfate de potasse. Si l'on vient à faire l'analyse de ces sels, on trouve que dans le sulfate neutre la quantité d'oxigène de la base est à la quantité d'oxigène de l'acide, comme 1 : 3, et dans le sulfate acide, comme 1 : 6. Or, si l'on considère comme neutre celui

dans lequel les rapports sont comme 1 : 3, il est évident qu'il faudra appeler sulfates neutres tous ceux qui offriront cette composition. On arrivera de la même manière à déterminer la neutralité de tous les genres de sels.

CLASSIFICATION. — Les sels sont de la même *espèce* lorsqu'ils sont formés des mêmes bases et des mêmes acides dans les mêmes proportions; les *variétés* sont déterminées d'après les différences dans la forme cristalline; les *genres* sont formés de la réunion des espèces ayant pour principe commun l'acide ou le principe électro-négatif; les *familles* peuvent être formées par la réunion de genres ayant entre eux beaucoup de rapport : ainsi les chlorures, les iodures, les bromures, les fluorures, devront former une même famille; il en est de même des arséniates et des phosphate, des sulfates et des séléniates, etc.

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES. — Tous les sels sont solides, excepté le sous-fluoborate d'ammoniaque et l'acétate d'ammoniaque qui sont liquides. Tous peuvent prendre des formes cristallines; leur pesanteur spécifique est plus grande que celle de l'eau, et en général dépend de la nature de l'oxide; leur couleur est très variable; il en est de même de leur cohésion; leur saveur est ordinairement déterminée par la nature de l'oxide ou de la base : ainsi les sels de plomb sont sucrés, ceux de quinine amers, etc.; leur odeur est nulle, cependant quelques sels ammoniacaux avec excès de base ont une odeur ammoniacale, tels sont les carbonate neutre et sesqui carbonate d'ammoniaque.

COMPOSITION. — Tous les sels d'un même genre et au même état de saturation sont composés de telle manière que la quantité d'oxigène de l'oxide est proportionnelle à la quantité de l'acide : il existe même entre la quantité d'oxigène de l'acide et la quantité d'oxigène de la base, un rapport simple tel que l'oxigène de l'un est un multiple par un nombre entier de l'oxigène de l'autre; par exemple, on sait :

que le carbonate de plomb est formé de :	ac. carboniq. 100, contenant 72,32 d'oxigèn. protox. de plomb 506,06, cont. 36,29 d'oxig.
que le carbonate de soude est formé de :	ac. carboniq. 100, contenant 36,15 d'oxigèn. soude 141,387, contenant 36,15 d'oxigène.

En jetant un coup-d'œil sur les quantités d'oxigène des bases et de l'acide, on voit facilement la vérité de ce que nous avons avancé. On peut voir encore que dans les carbonates, l'oxigène de l'acide est à l'oxigène de la base comme 2 : 1. Mais comme les acides possèdent la propriété de se combiner aux bases, d'après la loi énoncée page 351, il en résulte que, dans les bi-carbonates, l'oxigène de l'acide est à celui de la base comme 4 : 1, etc. On peut en dire autant de tous les genres de sels.

Il doit résulter de ce qui précède, que les différentes quantités de bases salifiables qui se combinent à un acide pour former un genre de sels, doivent être dans le même rapport que celles qui s'unissent à un autre acide pour former un autre genre de sels. Si donc on met en contact deux sels neutres, capables de se décomposer mutuellement, il doit en résulter deux nouveaux sels au même état de saturation ; c'est ce que l'exemple suivant prouve. Soit le sulfate de soude

formé de :	1 d'acide		501,1
	1 de soude	1 de sodium	290,9
		1 d'oxigène.	100,0

et l'azotate de baryte

formé de :	1 d'acide.		677,0
	1 de baryte	1 baryum.	856,9
		1 oxigène.	100,0

il est clair que, comme il faut à 501,1 d'acide sulfurique une quantité d'oxide qui contienne 100,0 d'oxigène et à 677,0 d'acide azotique une quantité d'oxide contenant également 100,0 d'oxigène ; il est clair, disons-nous, que, quelle que soit l'une des bases qui soit combinée à l'un des acides, le sel qui en résultera sera neutre, puisque les quantités d'acides et d'oxides sont dans les proportions voulues pour constituer un sel neutre. Maintenant il est clair que 677,0 d'azide azotique pouvant remplacer, 501,1 d'acide sulfurique, *et vice versa*, ces quantités représentent le nombre proportionnel des deux acides ; de même que 956,9 de baryte et 390.9 de soude sont les quantités qui représentent les *équivalents* des deux bases, puisque mutuellement elles peuvent se remplacer pour constituer un sel au même état de saturation.

On peut encore déduire de la loi précédente les deux conséquences suivantes :

1° La composition des oxides et celle d'une espèce de sel d'un genre quelconque nous étant connues, on peut en conclure celle de toutes les espèces de ce genre. En effet, on sait que le sulfate neutre de plomb est formé de 100 d'acide sulfurique, et de 279 de protoxide de plomb, contenant 20 d'oxigène, il n'y aura donc qu'à remplacer cette quantité d'oxide de plomb par une quantité d'un autre oxide contenant aussi 20 d'oxigène; pour avoir la composition de ce nouveau sulfate, que ce soit, par exemple, le bioxide de cuivre, comme il en faut 99,13, pour former un sel neutre, on trouvera que le sulfate est formé de 100 d'acide et de 99,13 d'oxide de cuivre.

2° On peut encore à l'aide de cette loi arriver à connaître la quantité d'oxigène que contient un oxide qui serait irréductible. Supposons, en effet, que ce soit la baryte dont on veuille connaître la composition, il faudra commencer par la combiner à l'acide sulfurique, et l'on verra que 100 d'acide exigent 191,39 de baryte. Or, on sait que pour former un sulfate neutre 100 d'acide sulfurique exigent une quantité de base qui contient 19,99 d'oxigène; il faut donc en conclure que les 191,39 de baryte contiennent 19,99 d'oxigène.

PROPRIÉTÉS CHIMIQUES. — Soumis à l'action de la chaleur, certains sels se volatilisent sans décomposition; d'autres, au contraire, sont entièrement fixes; seulement, ceux-ci fondent d'abord dans leur eau de cristallisation, quand ils en contiennent, se dessèchent, puis éprouvent une nouvelle fusion qu'on nomme *ignée*. Enfin, d'autres se décomposent en perdant leur acide, et quelquefois les oxides se suroxident, d'autres fois ils se désoxident, ce qui arrive aux sels des deux dernières sections. Quelquefois, enfin, l'eau qui contient un sel n'y est qu'à l'état d'interposition; alors le feu, en vaporisant cette eau, fait briser les parties salines, avec un bruit particulier qu'on nomme *décrépitation*.

Tous les sels, pourvu qu'ils soient humectés ou dissous, sont susceptibles de décomposition par un courant voltaïque; alors le métal se rend au pôle négatif, et l'oxigène et l'acide se rendent au pôle positif.

L'eau dissout une grande quantité de sels, cette solubilité dépend de l'affinité du sel pour l'eau, et de sa cohésion. En général, elle est en raison directe de la première cause et en raison inverse de la seconde. On remarque que l'ébullition de l'eau saturée d'un sel se fait à une température d'autant plus élevée que

l'affinité du sel pour l'eau est plus grande. On peut donc mesurer cette affinité en plongeant un thermomètre dans la dissolution bouillante. Tous les sels dont la base est la soude, la potasse ou l'ammoniaque, sont solubles, à moins qu'ils ne soient avec excès d'*acide insoluble.* Également tous les sels avec excès d'*acide soluble*, sont eux-mêmes solubles. En général, ceux qui sont avec excès de base sont insolubles ou peu solubles, à moins que la base ne soit soluble.

En général les sels sont plus solubles à chaud qu'à froid, d'où il suit que, par le refroidissement, la dissolution doit abandonner une portion du sel; mais comme cette séparation ne se fait que progressivement, les particules du sel se réunissent par les faces qui se conviennent le mieux, d'où résulte un agrégat de particules salines, affectant la forme d'un *cristal.* L'eau qui reste après que les cristaux se sont formés, prend le nom d'*eau-mère.*

Quand l'eau ne peut plus dissoudre d'un sel, on dit qu'elle est saturée, mais souvent elle peut dissoudre un autre sel, et quelquefois même l'autre sel lui donne la propriété de dissoudre du premier. La dissolution d'un sel dans l'eau se fait toujours avec absorption de calorique, et d'autant plus que le sel est plus soluble.

Si l'on mêle de la glace avec un sel soluble, tous deux se liquéfieront, ce qui n'aura lieu qu'en empruntant beaucoup de calorique aux corps environnants. La production de froid est d'autant plus grande que la combinaison est plus prompte et la disparition des deux corps plus complète. C'est au moyen de ces mélanges qu'on nomme *mélanges frigorifiques*, que l'on se procure des froids artificiels très intenses.

Exposés à l'action de l'air, les uns attirent l'humidité que ce fluide contient, et se résolvent en liqueur; on les nomme *sels déliquescents;* les autres, au contraire, perdent de leur eau et leur transparence, et tombent en poussière, ils sont dits *efflorescents.* Remarquons pourtant que, dans un air saturé d'humidité, tous les sels solubles sont déliquescents. Quant aux sels insolubles, rarement ils s'altèrent.

Les sels formés par quelques acides et quelques oxides d'un degré inférieur d'oxidation peuvent absorber l'oxigène, les sulfites, les phosphites, par leur acide qui se transforme en acide plus oxigéné; les sels de protoxide de fer et étain par leur oxide.

Il faut, pour que cette absorption se fasse bien, que le sel soit dissous ou humecté.

Le potassium et le sodium, à une chaleur élevée et à sec, décomposent presque tous les sels; tantôt ils ne décomposent que l'acide du sel, d'autres fois ils décomposent l'acide et l'oxide en réduisant le métal.

Si le sel est en dissolution, les métaux de la première section décomposent l'eau de préférence au sel, s'oxident et s'unissant à l'acide du sel en précipitent la base: quand le métal appartient à l'une des quatre dernières sections, alors il n'a plus d'action sur les sels des deux premières, mais ils peuvent agir sur une dissolution de sels des mêmes sections que le métal, en se substituant à la place du métal qui contenait le sel, pourvu que le métal décomposant ait plus d'affinité pour l'oxigène et l'acide, que celui de la dissolution. Ainsi, le fer précipite le cuivre, le zinc précipite le plomb, le cuivre précipite le mercure, etc.

Ce qu'il y a de remarquable dans cette décomposition, c'est que la quantité de métal précipité et celle du métal qui se substitue, sont toujours constantes et proportionnelles; c'est-à-dire que si l'on prend la quantité du métal précipité et celle du métal précipitant, on trouve que, bien que ces quantités soient différentes, elles s'équivalent. Il résulte de cela que si le sel de la dissolution est neutre, le nouveau sel sera neutre lui-même. Si l'on cherche à réduire en chiffres les quantités des deux métaux, on verra, par exemple, pour le cuivre et le fer, que 791,39 du premier sont remplacés, dans le sel, par 339,21 de fer. Or, ces quantités étant celles qui absorbent 100 d'oxigène, il en résulte que les deux sels doivent être au même état de saturation, si nous nous rappelons ce que nous avons dit de la composition des sels. Il en résulte encore que ces quantités, 791,39 et 339,21, représentent la *proportion*, ou l'*équivalent chimique* de ces métaux.

Il arrive pourtant, si la dissolution reste en contact avec le métal précipitant, que le métal précipité est en plus grande quantité qu'il ne devait l'être; mais c'est que le métal, en se déposant, enveloppe de toutes parts le métal précipitant, et lui ôte tout contact avec la dissolution saline, d'où résulte un élément de la pile qui continue la décomposition; c'est ce qui arrive dans les cristallisations nommées *Arbre de Diane* et *Arbre de Saturne*.

Les oxides de la première section, la magnésie et l'ammo-

niaque décomposent tous les sels en s'emparant de leur acide, en tout ou partie. Dans le premier cas, l'oxide se précipite; dans le second. il se forme un sel *double*, qui se précipite ou reste en dissolution. Si la quantité d'oxide ajouté n'est pas assez grande, il peut le plus souvent se former un précipité de *sous-sel*, ou sel avec excès de base.

Quand on verse un acide dans une dissolution saline, le plus souvent il ne paraît rien se passer; cependant, si l'acide que l'on ajoute a plus d'affinité pour l'oxide que l'acide du sel, celui-ci est éliminé, et comme le plus souvent les acides sont solubles, ceux-ci restent en dissolution, et, par leur présence, contre-balancent souvent l'effet de l'acide ajouté. Si l'acide mis à nu était ou volatil, ou insoluble, il se volatiliserait ou se précipiterait. Souvent aussi le nouveau sel formé est insoluble, alors il se précipite.

Quelques acides qui seraient éliminés par d'autres, parce qu'à une basse température ils sont peu énergiques, deviennent au contraire capables de chasser les plus forts acides quand la température est rouge; c'est ce qui arrive aux acides borique, phosphorique, etc., qui sont fixes, ou supportent une haute température sans se volatiliser.

Les oxides qui paraissent avoir le plus d'affinité pour les acides, sont ceux de la première section, la magnésie et l'ammoniaque; mais leur affinité dépend en général de l'acide, comme l'affinité de l'acide pour les bases dépend de la nature de la base.

Parmi les acides, ceux qui sont les plus énergiques sont les acides sulfurique, phosphorique, azotique, chlorhydrique, chlorique, etc., et à une température élevée, les acides borique, phosphorique, silicique, etc.

L'ordre de la tendance à se combiner des acides et des bases paraît être le suivant :

Acide sulfurique
- baryte, strontiane;
- potasse et soude;
- chaux;
- ammoniaque et magnésie.

Acides azotique, azoteux phosphoreux, hypo-phosphorique chlorique, hyperchlorique chlorhydrique, bromhydrique iodhydrique, sulfhydrique, etc.	potasse et soude; baryte et strontiane; chaux; ammoniaque et magnésie.
Pour la plupart des autres acides	baryte, strontiane et chaux; potasse et soude; ammoniaque et magnésie.

Remarquons que l'ammoniaque et la magnésie ont une énergie à peu près égale; que l'ammoniaque décompose les sels de magnésie en partie, et que la magnésie, à son tour, décompose les sels ammoniacaux en partie.

De l'action qu'exercent les sels les uns sur les autres, résultent des phénomènes que l'on peut énoncer en quatre lois principales :

1° Quand on chauffe ensemble deux sels qui, par l'échange de leurs acides et de leurs bases, peuvent donner naissance à un sel volatil et à un sel fixe, la décomposition a constamment lieu.

2° Si l'on mêle ensemble deux sels en dissolution, et que, de leur réaction, puissent se former un sel soluble et un sel insoluble, la décomposition se fera toujours, à moins que le sel insoluble et le sel soluble puissent, en se combinant, former un sel double, ce qui est très rare. Cette sorte de réaction porte, en chimie, le nom de *double décomposition.*

3° Si l'on met en contact un sel insoluble avec un sel soluble, et que ces sels contiennent les éléments capables de former deux sels insolubles, leur décomposition est forcée.

4° Enfin, si l'on fait bouillir quelque temps un sel insoluble avec le carbonate de soude ou de potasse en dissolution, il y aura décomposition du sel insoluble, à moins que ce sel ne soit un silicate.

Quelques sels peuvent encore être mis en contact sans qu'il y ait apparition d'aucun phénomène; alors on peut supposer qu'il ne se passe rien; mais si l'on vient à évaporer la liqueur, on voit que, des quatre sels qui pourraient résulter de la combinaison des deux bases et des deux acides, celui qui est le moins soluble est celui qui se forme toujours, etc.

Les sels peuvent encore se combiner les uns avec les autres et former des combinaisons plus complexes, et que l'on nomme *sels doubles.*

Long-temps on n'a connu que quelques sels doubles, parce qu'on agissait sous l'influence de l'eau ; mais dans ces derniers temps, M. Berthier a montré que, par la voie sèche, on pouvait en obtenir un bien plus grand nombre.

Parmi les sels doubles employés on peut citer l'alun qui est un sulfate double d'alumine et de potasse, ou d'ammoniaque ; le sulfate de soude et de chaux, le sulfate de soude et de magnésie, le phosphate de soude et d'ammoniaque ; le tartrate de potasse et de soude, etc.

Beaucoup de sels se trouvent dans la nature, mais la chimie en produit encore un plus grand nombre.

Pour préparer les sels on suit plusieurs procédés dont les principaux peuvent être réduits à cinq :

1° En combinant directement un acide avec un oxide ;

2° En traitant les carbonates par les acides ;

3° En traitant soit à froid, soit à chaud, un métal par un acide ;

4° En employant la voie des doubles décompositions ;

5° Enfin, pour obtenir des sels avec excès de base, en versant un peu de potasse, de soude, ou d'ammoniaque dissous, dans une dissolution saline en excès.

Nous allons maintenant traiter les genres de sels qui contiennent les espèces les plus employées.

230. CARACTÈRES GÉNÉRIQUES DES CARBONATES. CARBONATE DE CHAUX ; CARBONATE DE POTASSE ; POTASSE DU COMMERCE ; CARBONATE DE SOUDE ; SOUDE DU COMMERCE ; CARBONATE D'AMMONIAQUE, etc.

L'acide carbonique peut se combiner avec certaines bases en trois proportions, et former des *carbonates neutres*, des sesqui-carbonates et des bi-carbonates ; dans ces sels, les quantités d'acides sont entre elles comme les nombres 1, 1 1/2 et 2.

Les carbonates de potasse, de soude, de baryte et de lithine, sont les seuls qu'une chaleur élevée ne décompose pas. Tous les autres perdent leur acide carbonique ; tous, à l'exception des carbonates de potasse, de soude et de lithine, sont insolubles, mais quelques uns de ceux qui sont insolubles se dissolvent dans un excès d'acide carbonique. Chauffés avec du bore, du phosphore ou du charbon, ils sont tous décomposés, de là résultent divers produits faciles à prévoir.

Caractères génériques. — Tous les acides les décomposent en dégageant leur acide carbonique avec une sorte de boursouflement qu'on nomme *effervescence.* Quand le gaz qui se dégage est sans couleur, n'a qu'une odeur légèrement piquante et ne répand point de vapeurs blanches dans l'air, le sel est un carbonate.

Les carbonates neutres sont formés de telle manière que l'oxigène de la base est à l'oxigène de l'acide comme 1 : 2.

CARBONATE DE POTASSE. (*Sel de tartre, sel d'absinthe, de centaurée, potasse*, etc.) — Ce sel est blanc, âcre, caustique, verdissant le sirop de violettes, très soluble, déliquescent à l'air, cristallisant difficilement en lames rhomboïdales; fusible à la chaleur blanche et ne se décomposant que par un courant de vapeur d'eau; alors l'acide carbonique se dégage et il se fait un hydrate. Il est formé de 1 atome d'acide et de 1 atome de base $= KO, C^2 O^2$.

Ce sel ne se trouve pas dans la nature, mais il se forme toutes les fois qu'on brûle un végétal. Pour l'obtenir à peu près pur, on fait un mélange de bi-tartrate de potasse et de sel de nitre pulvérisé; on les projette dans une bassine de fonte chauffée au rouge; le mélange s'enflamme, les acides tartrique et azotique se décomposent en même temps que de l'acide carbonique prend naissance et se combine à la potasse du bi-tartrate et de l'azotate de potasse; le résidu est du carbonate de potasse, qu'on sépare d'un peu de charbon en le lessivant et évaporant la liqueur à siccité.

Les chimistes l'emploient comme réactif, ou pour préparer l'hydrate de potasse.

POTASSE DU COMMERCE. — Ce produit, qui possède les mêmes propriétés que le sel précédent, est du carbonate de potasse, contenant des quantités variables de sulfate de potasse, de chlorure de potassium, d'un peu d'alumine, de silice, de chaux, d'oxides de fer et de manganèse.

On le prépare dans les pays où les bois sont abondants, comme en Russie, en Amérique, etc.; pour cela, on brûle les bois, on lessive à chaud la cendre qui en résulte, et la liqueur est évaporée à siccité ; dans cet état la matière solide est connue sous le nom de *salin ;* on calcine ce salin, pour détruire quelque matière combustible qui reste encore, et la matière refroidie est renfermée dans des tonneaux bien fermés, et livrée au commerce sous le nom de potasse du pays qui la

fournit. De là les variétés de potasse, connues sous les noms de *potasse de Russie*, *d'Amérique*, *de Trèves*, *des Voges*, et *de Dantzick*.

On se sert de cette potasse dans la fabrication du verre, de l'alun, du salpêtre, du savon mou, des lessives, etc.

CARBONATE DE SOUDE. — Blanc, âcre, légèrement caustique, très soluble dans l'eau, plus à chaud qu'à froid, et cristallisant par le refroidissement en prismes rhomboïdaux. Il est efflorescent. Chauffé, il fond dans son eau de cristallisation, la perd, puis subit la fusion ignée; ne se décompose que par un courant de vapeur d'eau.

Il est formé de 2 atomes d'acide carbonique, 1 atome de base et 10 atomes d'eau = $(NaO, C^2O^2) + 10\ H^2O$.

Ce sel ne se trouve pas dans la nature, celui que l'on trouve et que l'on prenait pour du carbonate de soude n'est que du sesqui-carbonate. M. Gay-Lussac a prouvé que celui que l'on obtient en brûlant les plantes marines, ne provient que de la décomposition de l'oxalate de soude contenue dans ces plantes.

On l'obtient à l'état de pureté en faisant cristalliser à plusieurs reprises la soude du commerce.

On s'en sert quelquefois dans les laboratoires comme réactif, et quelquefois aussi dans les arts.

SOUDES DU COMMERCE.—Elles sont formées de carbonate de soude en quantité variable, de sulfate de soude, de sulfure de sodium, de sel marin, de carbonate de chaux, d'alumine, de silice, d'oxide de fer, de charbon, etc.

On connaît dans le commerce deux sortes de soudes, la *naturelle* et l'*artificielle*.

La soude naturelle se prépare en brûlant dans des fossés les plantes marines, de manière que la combustion soit entretenue plusieurs jours. Il en résulte une masse noire, compacte, vitrifiée, qui, concassée, constitue la soude du pays où elle se fabrique.

On connaît des soudes de différents pays; celle que fournit l'Espagne, et qui est connue sous le nom de *soude d'Alicante*, est la plus riche. Celles qu'on récolte en France, et qui portent les noms de *soude de Narbonne*, *de Blanquette* ou *d'Aigues-Mortes*, *de warech* ou *soude de Normandie*, sont beaucoup moins riches. En effet, la première contient de 20 à 40/100 de carbonate sec, tandis que les autres n'en renferment que 14 à

15/100, telle que la soude de Narbonne, ou 3 à 8/100, comme la blanquette; enfin celle de warech en contient infiniment peu.

La soude artificielle s'obtient en calcinant fortement, dans un four à réverbère, un mélange fait avec les substances suivantes :

1,000	parties de sulfate de soude sec;
1,000	craie;
550	charbon.

Pendant que la masse est pâteuse, on la brasse avec un ringard, et quand il ne se dégage plus de gaz on retire la masse qu'on fait refroidir. Quand on veut s'en servir on doit la traiter par l'eau froide, car l'eau chaude décomposerait l'oxi-sulfure de calcium et dissoudrait du sulfure. La théorie de ce qui se passe s'explique ainsi :

Le charbon réduit le sulfate de soude à l'état de sulfure de sodium, en passant à celui d'acide carbonique et d'oxide de carbone. Le sulfure de sodium et la craie réagissent de manière à former du carbonate de soude et du sulfure de calcium, lequel, se combinant à une partie de la craie réduite à l'état de chaux, constitue l'oxi-sulfure de calcium que l'eau froide n'attaque pas.

Les soudes du commerce sont employées dans la préparation du savon, du verre, des lessives et dans quelques opérations de teinture.

CARBONATE DE CHAUX.—Ce sel est blanc, sans saveur ni odeur, cristallisant en une multitude de formes, pouvant toutes être réduites en un rhomboïde; il est complétement insoluble dans l'eau, à moins qu'elle ne contienne un excès d'acide carbonique; décomposable au feu en formant un résidu qui n'est que la chaux ordinaire.

Il est très abondamment répandu dans la nature, il s'y trouve à l'état de pureté et constitue le beau marbre blanc. Le plus souvent il est coloré par des oxides métalliques, ou mélangé d'autres substances. C'est lui qui constitue les différents marbres colorés, les pierres à bâtir ou pierres calcaires, l'albâtre, l'arragonite, le spath d'Islande, la craie, les madrépores, les coraux, etc.

Quand on veut l'employer, on se sert de la craie ou du marbre blanc; cependant, pour les usages de la médecine, on le prépare quelquefois par la voie des doubles decompositions.

Il est formé de 1 atome d'acide et 1 atome de chaux = $Ca\,O, C^2 O^3$.

On s'en sert communément pour faire la chaux, pour bâtir. A l'état de marbre on en fait des statues, des colonnes, des vases, etc.

SESQUI-CARBONATE D'AMMONIAQUE. (*Carbonate d'ammoniaque, sel volatil concret ou d'Angleterre.*) — Blanc, caustique et piquant, d'une odeur d'ammoniaque très prononcée, verdissant le sirop de violettes ; volatil, même à l'air libre, soluble dans l'eau froide, mais pas dans l'eau bouillante, tant il est volatil.

Ce sel n'existe que dans les urines pourries, car alors il provient de la transformation de l'*urée*, qui, s'appropriant les éléments de l'eau, passe à l'état de carbonate d'ammoniaque.

On l'obtient en chauffant ensemble du chlorhydrate d'ammoniaque et du carbonate de chaux mélangés. Le carbonate se forme et vient se condenser dans un récipient ordinaire en plomb, et d'où l'on peut le retirer facilement.

Ce sel résulte de la combinaison de 1 vol. d'acide carbonique et de 1 vol. 1/2 de gaz ammoniac = $3\,Az\,H^3, 2\,C^2\,O^2$. Dans les laboratoires, il sert comme réactif, et en médecine, comme excitant.

BI-CARBONATE DE SOUDE ET DE POTASSE. — Ces sels que l'on emploie aujourd'hui assez souvent, et dont les propriétés sont analogues aux carbonates neutres de potasse et de soude, s'obtiennent en laissant en contact une dissolution concentrée de carbonate de soude ou de potasse, avec un excès d'acide carbonique, dans un appareil particulier, où est exercée une pression plus ou moins considérable. Il est remarquable que ces sels, moins solubles que les carbonates neutres, se précipitent à mesure qu'ils se forment.

24° CARACTÈRES GÉNÉRIQUES DES PHOSPHATES. (*Phosphate de chaux; phosphate d'ammoniaque; s'en servir pour rendre incombustibles les tissus les plus inflammables*, etc.)

Depuis que M. Graham a mis au jour son intéressant mémoire sur les modifications de l'acide phosphorique, modifications dont nous avons donné un aperçu en traitant de cet acide,

il en résulte que les phosphates d'autrefois doivent être divisés en trois séries qui sont :

Les phosphates proprement dits,

Les pyrophosphates,

Les métaphosphates.

Ayant dit, à l'article *acide phosphorique*, tout ce que nous devions dire des pyrophosphates et des métaphosphates, il ne nous reste plus qu'à parler des phosphates proprement dits.

L'acide phosphorique tri-hydraté ($P^2 O^5$, $3 H^2 O$) peut se combiner avec les bases en trois proportions et former des sels neutres $P^2 O^5$, $2 R O$, $H^2 O$; des sels acides $P^2 O^5$, $R O. H^4 O^2$; et des sels basiques $P^2 O^5 3 R O$. Remarquons de suite qu'en considérant l'eau comme jouant le rôle de base, tous ces sels sont dans un rapport tel que la quantité d'oxigène de l'acide est à celui de l'oxide comme 5 : 3 ; et, dans ce cas, l'acide lui-même contenant 3 atomes d'eau, peut être considéré comme un véritable sel.

Exposés au feu, ces sels perdent l'eau qu'ils contiennent, et passent aux différentes modifications que nous avons fait connaître; ainsi le phosphate acide devient $P^2 O^5$, $R O$, ce qui le con titue métaphosphate. Le phosphate neutre devient $P^2 O^5$, $2 R O$, ou pyrophosphate; enfin, le phosphate basique ne contenant pas d'eau, ne peut se transformer en l'un des deux autres acides, et reste par conséquent à l'état de phosphate. Quoi qu'il en soit, ces acides étant fixes et les bases aussi, nulle autre décomposition ne peut avoir lieu; toutefois ils fondent et se vitrifient. Mais y ajoute-t-on du charbon, alors divers phénomènes se présentent. Si le sel appartient à la 1re ou la 2e section, l'acide n'est qu'en partie décomposé ; il se fait de l'acide carbonique et de l'oxide de carbone qui se dégage, tandis que le sel devient avec excès de base. Avec les phosphates des quatre dernières sections, au contraire, tout l'acide est décomposé en même temps que l'oxide, d'où résulte du phosphore et du métal qui se combinent. Le dégagement de gaz est le même que dans l'expérience précédente.

L'eau ne dissout que ceux de ces sels qui sont à base de potasse, de soude ou d'ammoniaque ; les autres ne le sont que dans un excès d'acide. Voilà pourquoi certains acides possèdent la propriété de les dissoudre; c'est que, s'emparant d'une partie de la base, ils mettent de l'acide phosphorique à nu qui transforme le sel en un phosphate acide.

CARACTÈRES GÉNÉRIQUES. — Si l'on chauffe un phosphate avec un excès de potassium, puis qu'on mette le résidu en contact avec de l'eau, il se dégage du gaz phosphure d'hydrogène que l'on peut enflammer, et si, d'ailleurs, chauffé avec l'acide sulfurique, le sel ne donne pas lieu à un dégagement de gaz hydrogène phosphoré qui s'enflamme, ce sel est un phosphate ou sa modification.

Nous ne traiterons ici que des phosphates neutres de chaux, de soude et d'ammoniaque.

PHOSPHATE DE SOUDE. — Ce sel est blanc, d'une saveur douce; verdit le sirop de violette; fond dans son eau de cristallisation, puis éprouve la fusion ignée et se transforme alors en un verre transparent de pyrophosphate. Exposé à l'air, il tombe en efflorescence. Il est très soluble, plus à chaud qu'à froid, et cristallise en prismes obliques, à bases rhombes.

Il contient 1 atome d'acide, 2 atomes de base et 1 atome d'eau $= P^2 O^5, 2 NAO, H^2 O$.

C'est un purgatif léger que l'on obtient en décomposant le phosphate acide de chaux par du carbonate de soude, filtrant la liqueur et l'évaporant.

PHOSPHATE DE CHAUX. — Nous avons à étudier ici trois des combinaisons que forment la chaux et l'acide phosphorique.

PHOSPHATE NEUTRE. — Ce sel est blanc, inodore, insipide, indécomposable par la chaleur, mais se fondant en un émail blanc, si la température est très élevée. Il est insoluble dans l'eau et l'alcool, soluble dans les acides azotique, chlorhydrique et phosphorique, et obtient par la voie des doubles décompositions.

Nous lui avons conservé le nom de phosphate neutre, bien que ce soit un phosphate basique $=$ à $P^2 O^5, 3 CaO$. Il est peu employé.

PHOSPHATE BASIQUE DES OS. — Tous les os des animaux paraissent formés en grande partie par un sel composé de 3 atomes d'acide phosphorique et de 8 atomes de chaux. On peut l'obtenir en calcinant à l'air libre les os, les traitant par l'acide chlorhydrique ou nitrique, et précipitant la liqueur par un excès d'ammoniaque. On recueille le précipité gélatineux, on le lave et on le calcine.

Il joue un très grand rôle dans l'économie animale; on l'em-

ploie dans les laboratoires, dans les arts et en médecine, dans les diarrhées chroniques. Il est surtout employé pour faire le phosphate suivant.

BI-PHOSPHATE.—On l'obtient en traitant les os calcinés, pulvérisés et délayés dans l'eau par l'acide sulfurique concentré qui s'empare d'une partie de chaux et met l'acide phosphorique à nu ; celui-ci, en se combinant à une portion du phosphate des os, constitue le phosphate acide très soluble. On décante, on évapore en consistance sirupeuse, et par le refroidissement il se forme de petites lames micassées de peu de consistance qui sont le bi-phosphate. C'est ce sel qui, calciné avec le charbon, produit le phosphore.

PHOSPHATE D'AMMONIAQUE. — Blanc, sans odeur et d'une saveur piquante. Il verdit le sirop de violettes ; à l'air, il ne s'altère pas. Chauffé, il fond, se décompose en perdant son ammoniaque, et passe à l'état d'acide pyrophosphorique vitreux, qui contient toujours un peu d'ammoniaque.

L'eau le dissout mieux à chaud qu'à froid. La liqueur chaude donne, par le refroidissement, des cristaux qui sont des prismes à quatre pans, terminés par des pyramides à quatre faces.

Ce phosphate se trouve uni aux phosphates de soude et de magnésie dans les urines de certains animaux.

Pour l'obtenir, on emploie le même procédé que celui qui sert à la préparation du phosphate de soude, si ce n'est qu'ici on emploie l'ammoniaque liquide.

Ce phosphate possède la singulière propriété de rendre incombustibles les étoffes que l'on plonge dans sa dissolution. Pour s'en servir, on fait une dissolution concentrée de ce sel, on y plonge le tissu, la gaze, par exemple, et on la fait sécher ; on peut ensuite l'exposer à la flamme d'une bougie sans qu'elle prenne feu. Cet effet est facile à concevoir : le sel, en se décomposant, laisse à nu l'acide phosphorique qui recouvre le tissu, et s'oppose ainsi à l'action de l'air. Cette propriété est commune à tous les sels solubles capables d'éprouver la fusion ignée à la chaleur rouge obscure.

25° CARACTÈRES GÉNÉRIQUES DES SULFATES. — *Sulfates de chaux, de soude, de magnésie; alun; sulfates de fer, de cuivre, etc.*

L'acide sulfurique peut, en se combinant avec les bases, donner naissance à des sels acides neutres, ou avec excès de base. Nous nous occuperons seulement des sulfates neutres.

Exposés à l'action d'une forte chaleur, il n'y a que ceux de la première section et celui de magnésie qui ne se décomposent pas; tous les autres se décomposent en donnant lieu à de l'acide sulfureux, de l'oxigène et plus ou moins d'acide sulfurique anhydre, qui se dégagent; tandis que l'oxide mis à nu absorbe de l'oxigène, s'il en est susceptible; ou en perd et se réduit, si le métal appartient aux deux dernières sections. Chauffé avec le charbon, leur acide est toujours décomposé, et il n'y a que les oxides de la deuxième section qui ne le soient pas. Dans tous ces cas, le sulfate passe à l'état de sulfure; tandis que le charbon, combiné avec l'oxigène, se dégage à l'état d'acide carbonique ou d'oxide de carbone.

L'eau dissout beaucoup de sulfates. On ne connaît que les sulfates de baryte, de plomb, et les sous-sulfates d'antimoine, de bismuth et de mercure, qui soient insolubles; les autres, au contraire, sont plus ou moins solubles.

CARACTÈRES GÉNÉRIQUES. — Lorsqu'un sel donné, traité par l'acide sulfurique, ne laissera pas dégager d'acide sulfureux; que, traité par une dissolution d azotate de baryte, soit à froid, soit à chaud, il donnera lieu à un précipité blanc, qui, lavé, séché et calciné avec du charbon, se transformera en sulfure dont la saveur est la même que celle des œufs pourris, ou qui donnera un abondant dégagement de gaz sulfhydrique par l'acide chlorhydrique, ce sel sera toujours un sulfate. Ajoutons de suite que le réactif le plus sensible pour reconnaître un sulfate en dissolution est l'eau de baryte, qui y fait naître instantanément un précipité blanc, insoluble dans l'acide nitrique.

Les sulfates neutres sont composés d'un atome d'acide et d'un atome base, contenant un atome d'oxigène $= RO, SO^3$. On peut voir que le rapport de l'oxigène de l'acide est à celui de la base comme 3 : 1.

SULFATE DE POTASSE. (*Sel de Duobus, arcanum dupli-*

catum, *tartre vitriolé*, etc.) — Blanc, amer, cristallisant en prismes, inaltérable à l'air, ne contient pas d'eau de cristallisation, mais bien de l'eau d'interposition ; ce qui le fait décrépiter au feu, fusible au-dessus du rouge cerise.

Il est formé d'un atome d'acide et d'un atome de potasse = KO, SO^3.

On l'emploie en médecine pour purger légèrement, et dans les arts pour faire l'alun. On peut l'obtenir directement ; mais, le plus souvent, on l'obtient en calcinant au rouge le résidu de la décomposition du nitre par l'acide sulfurique.

SULFATE DE SOUDE. (*Sel de Glaubert*, *sel admirable*, *soude vitriolée*, etc.) — Incolore, très amer, cristallisant en longs prismes, très transparents, s'effleurissant facilement à l'air, fusible au-dessus de la chaleur rouge, il très soluble; mais, ce qu'il faut remarquer, c'est que l'eau à 100° dissout moins de ce sel que l'eau à 33°; en sorte que son *maximum* de solubilité est à 33°.

On le rencontre dans les cendres des plantes marines, dans certaines eaux de source, etc. On peut l'obtenir directement; mais on en obtient d'énormes quantités qui servent à la fabrication de la soude artificielle, en traitant le chlorure de sodium par l'acide sulfurique; il est composé d'un atome d'acide, d'un atome de base et de dix atomes d'eau = $NA, O, SO^3 + 10 H^2 O$.

Il est employé comme purgatif.

SULFATE DE CHAUX. (*Plâtre*, *gypse*, *sélénite*, *albâtre gypseux.*) — Incolore, insipide, tantôt amorphe, tantôt cristallisé, attirant l'humidité sans être déliquescent; soumis à l'action d'une forte chaleur, il se fond en un émail blanc; il est peu soluble dans l'eau, il se dissout mieux si l'on y ajoute de l'acide sulfurique. On peut le préparer directement, mais la nature nous l'offre en abondance, tantôt hydraté, tantôt anhydre; dans le premier cas, sa formule est $(Ca, O, SO^3) + 2 H^2 O$; dans le second (Ca, O, SO^3). On le trouve aussi en dissolution dans beaucoup d'eaux.

C'est en calcinant le sulfate de chaux hydraté que l'on se procure le plâtre. On l'emploie pour les objets de sculpture; quand il contient un peu de carbonate de chaux, on le recherche pour les travaux de construction ; combiné à quelques matières colorantes et gâché avec de la colle-forte, il constitue le *stuc*, ma-

tière qui imite le marbre; enfin, on s'en sert pour amender les terres, etc.

SULFATE DE MAGNÉSIE. (*Sel d'Epsum*, *de Sedlitz*, *d'Egra*, *d'Angleterre*, etc.) — Blanc, très amer, cristallisant en prismes rectangulaires, efflorescent, contenant de l'eau de cristallisation; soumis à l'action de la chaleur, il éprouve la fusion aqueuse et non la fusion ignée. La potasse et la soude le décomposent entièrement; n'est précipité par les bi-carbonates alcalins qu'à l'aide de la chaleur.

Il contient sept atomes d'eau $= (Mg. O, SO^3) + 7 H^2 O$.

Ce sulfate se trouve dans les eaux de plusieurs fontaines, de la mer, etc. On l'obtient en évaporant et faisant cristalliser les eaux qui le contiennent, ou bien en traitant directement la magnésie, ou certaines matières magnésifères par l'acide sulfurique.

On l'emploie très souvent en médecine comme purgatif.

SULFATE D'ALUMINE ET DE POTASSE OU D'AMMONIAQUE. (*Alun de Rome, alun de roche.*) Ce sel, considéré long-temps comme un sulfate d'alumine simple, fut reconnu pour être un sel double, par MM. Vauquelin, Chaptal et Descroizille; ils ont prouvé, de plus, qu'il avait pour base, tantôt du sulfate de potasse et tantôt du sulfate d'ammoniaque.

L'alun à base de potasse est blanc, astringent, rougissant la teinture de tournesol; il est soluble dans l'eau, mais beaucoup moins à froid qu'à chaud; il cristallise ordinairement en octaèdres, qui sont transparents et légèrement efflorescents. Si la dissolution contient un excès d'alumine, alors il cristallise en cubes, ce qui le faisait nommer *alun cubique*.

Exposé à une chaleur un peu au-dessus de 100°, il fond dans son eau de cristallisation et forme, après son refroidissement, ce que l'on connaît sous le nom *d'alun de roche;* à quelques degrés de plus, il perd son eau, devient opaque et constitue *l'alun calciné*. Chauffé à une chaleur rouge, il laisse dégager de l'oxigène et de l'acide sulfureux; enfin, le résidu formé d'alumine et de sulfate de potasse peut lui-même être décomposé si la température est très élevée, car alors l'alumine à cette température chasse l'acide sulfurique et forme avec la potasse un *aluminate*. Si l'on verse dans une dissolution bouillante d'alun, de la potasse, de la soude ou de l'ammoniaque, il se précipite un sous-sulfate double, qui est très analogue à celui qu'on trouve dans la nature.

Calciné avec du charbon, il se forme un composé qui est formé

de sulfure de potassium, d'alumine et de charbon, et qui, en raison de la propriété qu'il a de s'enflammer à l'air, a été nommé *pyrophore*. Cette matière s'enflamme d'autant plus vite que l'air est plus humide.

L'alun, à base d'ammoniaque, possédant les mêmes propriétés que le précédent, s'en distingue en ce que, calciné, toute l'ammoniaque se dégage et il ne reste plus que de l'alumine, et en ce que traité par la potasse ou la soude, il se fait un dégagement d'ammoniaque facile à reconnaître par son odeur.

L'alun existe tout formé dans quelques eaux et aux environs des volcans. Pour l'obtenir, on lessive les matières qui le contiennent tout formé et on évapore les liqueurs pour les faire cristalliser. On peut encore calciner certaines argiles, les traiter par l'acide sulfurique et ajouter au sulfate d'alumine qui se forme du sulfate de potasse ou d'ammoniaque, puis faire cristalliser.

Ce sel est formé d'un atome de sulfate d'alumine, d'un atome de sulfate de potasse et de vingt-quatre atomes d'eau, d'où la formule $(KO, SO^3) + (Al.^2 O^3, 3 SO^3) + 24 H^2 O$.

L'alun est très employé dans la teinture comme mordant, on préférait à cet usage celui de *Rome;* mais, depuis qu'on est parvenu à obtenir de l'alun exempt d'oxide de fer, cette préférence n'existe plus. Il possède la propriété de rendre le suif plus dur, aussi y en introduit-on un peu; il sert à fabriquer plusieurs laques, etc.

SULFATE DE PROTOXIDE DE FER. (*Vitriol vert, couperose verte*, etc.) — Styptique, non vénéneux, vert, transparent; cristallisant en prismes rhomboïdaux obliques, qui contiennent de l'eau de cristallisation et sont efflorescents. Chauffés ils fondent dans leur eau de cristallisation, la perdent, et deviennent blancs; à une chaleur rouge, ce sel se décompose, il se dégage de l'acide sulfureux, un peu d'oxigène et de l'acide sulfurique anhydre. Le résidu de cette décomposition est du protoxide de fer qui s'est emparé de l'oxigène d'une partie de l'acide et est devenu sesqui oxide que l'on connaît sous le nom de *colcothar*.

Exposé à l'air un peu humide, l'oxide de ce sel absorbe l'oxigène de l'air seulement à sa surface, et cet excès d'oxide qui en résulte recouvre le sel de taches *ocreuses*. Si on l'expose à l'air à l'état de dissolution, son oxide absorbe encore l'oxigène, et alors il se forme un sulfate basique de sesqui-oxide qui se précipite, et un composé double de sulfate de protoxide et de sulfate de sesqui-oxide qui reste en dissolution.

Ce sel contient six atomes d'eau $=(Fe.O, SO^3) + 6 H^2O$.

On trouve du sulfate de fer partout où il existe du sulfure de fer en contact avec l'air; on peut le préparer directement en traitant le fer par l'acide sulfurique étendu d'eau. Dans les arts on le prépare en exposant à l'air humide le sulfure de fer Le soufre et le fer absorbent l'oxigène, d'où résulte du sulfate de fer qui s'effleurit et que l'on extrait par lixiviation, évaporation et cristallisation.

On se sert de ce sel, dans la préparation des teintures en noir, de l'encre, du bleu de Prusse, du colcothar, et à précipiter l'or en poudre de sa dissolution dans l'eau régale, poudre qui est employée pour dorer sur la porcelaine, etc.

SULFATE DE SESQUI-OXIDE. — Jaune orangé, très acerbe, très styptique, non cristallisable, rougit la teinture de tournesol; s'obtient en traitant l'hydrate de sesqui-oxide par l'acide sulfurique, n'est employé que combiné en petites proportions avec l'autre par les teinturiers, ou par les chimistes quelquefois comme réactif.

Sa formule est $(Fe.^2 O^3, 3 SO^3)$.

SULFATE DE BI-OXIDE DE CUIVRE. (*Couperose bleue, vitriol bleu, vitriol de Chypre*, etc.) — Il paraît que le protoxide de cuivre ne peut pas se combiner à l'acide sulfurique sans se décomposer en cuivre et en bi-oxide qui se combine à l'acide.

Le sulfate de cuivre est d'une belle couleur bleue, d'une saveur très styptique; cristallisant en beaux prismes obliques, à base de parallélogramme obliquangle, transparents, qui contiennent de l'eau de cristallisation, s'effleurissent un peu, se fondent à une douce chaleur, puis blanchissent en se desséchant; enfin, se décomposent à une chaleur plus forte; la potasse, la soude, l'ammoniaque, etc., décomposent ce sel; cette dernière redissout sur-le-champ le précipité blanc bleuâtre et forme la liqueur d'un beau bleu que l'on connaît sous le nom d'*eau céleste*.

Ce sulfate se trouve dans les eaux qui coulent à travers les mines de cuivre. On peut l'en extraire par l'évaporation. Le plus souvent on se le procure en traitant le sulfure de cuivre par le procédé que nous avons indiqué pour la préparation du sulfate de fer.

Ce sel est formé de 1 atome de bi-oxide de cuivre, de 1 atome d'acide et de 5 atomes d'eau $=(Cu O, SO^3) + 5 H^2 O$.

Il sert pour préparer le vert de Schéele et les cendres bleues; en médecine on l'emploie comme escarrotique.

26° CARACTÈRES GÉNÉRIQUES DES AZOTATES; AZOTATE DE POTASSE; POUDRE; CARACTÈRES GÉNÉRIQUES DES CHLORATES; CHLORATE DE POTASSE; POUDRES FULMINANTES, etc.

AZOTATES.

Tous les azotates se décomposent au feu. Les uns donnent d'abord de l'oxigène et se transforment en azotites; puis ensuite, quand la chaleur est plus élevée, il se dégage à la fois de l'oxigène, de l'azote, un peu d'acide hypo-azotique, et passent à l'état d'oxides. Tous les azotates dont l'oxide a beaucoup d'affinité pour l'acide, sont dans ce cas.

Les autres donnent immédiatement lieu à un dégagement d'oxigène et d'acide hypo-azotique, et l'oxide reste libre, suroxidé, ou réduit selon qu'il est ou n'est pas susceptible d'être altéré. Si l'acide avait peu d'affinité, et si le sel ne pouvait être obtenu sans eau, alors l'acide azotique se volatiliserait sans se décomposer. Si on le met sur des charbons ardents il fuse comme les chlorates. Presque tous les métalloïdes peuvent les décomposer en s'emparant de l'oxigène de l'acide. L'acide sulfurique en dégage l'acide azotique à la température ordinaire. Les acides phosphorique, arsénique, etc., à une température un peu élevée. Enfin, l'acide chlorhydrique le décompose en partie et forme de l'eau régale.

Tous les azotates sont solubles dans l'eau ou dans un excès d'acide.

Caractères génériques. — On reconnaît qu'un sel est un azotate, toutes les fois que, mis en contact avec les charbons, il fuse, que l'acide sulfurique concentré, froid ou chaud, en fait dégager des vapeurs blanches, piquantes, et qu'en ajoutant au mélange de la tournure de cuivre et un peu d'eau, il se produit des vapeurs rouges.

Dans les azotates neutres, l'oxigène de l'acide est à celui de la base comme 5 : 1 $= RO\,(Az^2O^5)$.

Nous ne traiterons ici que des azotates de potasse et d'argent, les autres étant inutiles.

AZOTATE DE POTASSE. (*Nitre, sel de nitre, salpêtre.*) —

Ce sel est blanc, d'une saveur fraîche et piquante, cristallisant en longs prismes à six pans transparents et cannelés. Il n'éprouve rien à l'air, à moins que celui-ci ne soit chargé d'humidité. Si on le soumet à une chaleur de 350° il fond, et si alors on le coule en plaques minces, refroidi, il constitue le *cristal minéral*, ou *sel de Prunelle*. En le chauffant davantage, il laisse dégager de l'oxigène et passe à l'état d'azotite, et enfin de potasse. Pulvérisé avec le tiers de son poids de soufre, et les deux tiers de son poids de potasse du commerce, on obtient une poudre *fulminante* très énergique. Réduit en poudre, puis mélangé avec du charbon et du soufre en proportions convenables, on obtient la poudre à canon, sur laquelle nous allons revenir.

Le nitrate de potasse se rencontre souvent à la surface des murs humides, dans les lieux exposés aux émanations animales, tels que les bergeries, les écuries, etc. On le trouve aussi dans des lieux où l'on ne rencontre pas de matières animales, ce qui fait penser que ces matières ne sont pas indispensables à la formation de l'acide azotique. On suppose alors que sous l'influence des matières calcaires et poreuses de l'humidité l'air est absorbé, et que ses éléments s'unissent de manière à constituer l'acide azotique qui se combinerait aux bases. Ajoutons que les matières animales, quand il y en a, interviennent dans cette formation.

Pour obtenir ce sel, on le retire par lixiviation des terres qui le contiennent, et on évapore la liqueur. Mais dans beaucoup de pays où les matériaux ne contiennent que peu d'azotate de potasse et au contraire beaucoup plus d'azotates de chaux et de magnésie, on s'y prend différemment : après avoir choisi des plâtras provenant des démolitions, on les lessive jusqu'à épuisement complet, on concentre les eaux qui en résultent jusqu'à 25°, en ayant soin de séparer un dépôt qu'on appelle *boues*. Alors on opère la transformation des azotates de chaux et de magnésie, en y ajoutant une dissolution concentrée de carbonate de potasse, qui, par double décomposition, forme avec la c aux et la magnésie des carbonates insolubles, et avec l'acide azotique, de l'azotate de potasse, qui reste en dissolution. On décante les liqueurs et on les fait évaporer jusqu'à 45°, en ayant soin d'en séparer du sel marin qui se dépose; arrivées à ce degré, on les laisse refroidir pour les faire cristalliser. Le nitre qui en résulte est de *première cuite* et impur; on le nomme *salpêtre brut*. Pour le purifier, on le dissout dans aussi peu d'eau

bouillante que possible, de manière à ce que le sel marin et du chlorure de potassium ne puissent se dissoudre, et quand on les a tous enlevés, on fait de nouveau cristalliser pour avoir le nitre de *deuxième cuite*. Enfin, pour en séparer certains sels déliquescents que contient ce nitre, on le lave avec une dissolution saturée de sel de nitre qui, ne pouvant plus dissoudre de nitrate de potasse, s'empare de tous les autres sels solubles. On a alors le nitre *raffiné* ou de *troisième cuite;* ce sel ne contient pas d'eau de cristallisation, aussi sa formule est-elle simplement KO, Az^2O^5.

On emploie le sel de nitre à la fabrication des acides nitrique et sulfurique, et à la préparation de l'*antimoine diaphorétique* du fondant de Rotrou, des flux blanc et noir, etc.

DE LA POUDRE. — La poudre n'est autre chose qu'un mélange intime de salpêtre, de soufre et de charbon. Pour qu'une poudre soit bonne il faut : 1° que le mélange des substances soit bien intime; 2° que le soufre et le nitre soient purs; 3° que le charbon soit léger, par conséquent préparé avec un bois léger (bourdaine, peuplier, tilleul, etc.); 4° enfin, que le dosage soit fait de manière que le mélange produise le plus de gaz possible. Ajoutons que la forme et la ténacité du grain de poudre, que le lustre ou le lissage, que la densité de la pâte influent encore beaucoup sur sa qualité.

Les proportions reconnues les meilleures pour les quatre poudres employées, sont les suivantes:

Poudres de	guerre,	chasse,	mine,	traite.
salpêtre	75,0	78	65	62
charbon	12,5	12	15	18
soufre	12,5	10	20	20

Après avoir pulvérisé les substances séparément dans des appareils particuliers, et qui diffèrent selon le procédé que l'on emploie, on les mélange intimement, on les réduit en pâte ferme au moyen d'un peu d'eau; alors on la grène, puis on l'égalise, et enfin on la sèche. La poudre de chasse reçoit une opération de plus, dont le but est de la lisser; opération qui a lieu avant de la sécher.

Quand on vient à enflammer de la poudre il en résulte une détonnation qui se produit de la même manière que celle que l'on obtient avec les poudres fulminantes (voyez pag. 482), et des pro-

duits qui sont les uns gazeux, les autres solides. Les premiers sont formés de beaucoup de gaz acide carbonique, d'azote, et d'un peu d'oxide de carbone, de vapeur d'eau, de gaz carbure d'hydrogène et de gaz sulfhydrique. Les produits solides sont toujours formés de sulfure de potassium, contenant parfois un peu de carbonate de potasse.

La poudre peut être enflammée aussi bien par l'étincelle électrique que par le feu. Aussi doit-on avoir la précaution de placer des paratonnerres au-dessus des magasins à poudre.

La poudre doit être conservée avec soin dans des endroits bien secs, autrement elle se détériore.

AZOTATE D'ARGENT. — Incolore, d'une saveur âcre, amère, très caustique; il est inaltérable à l'air, cristallisable en lames minces très larges. Ce sel est très soluble dans l'eau et donne une dissolution qui produit sur la peau des taches violettes qui ne disparaissent qu'avec la peau; le chlore ou les chlorures y font naître un beau précipité blanc, caillebotté, de chlorure d'argent. Exposé à une faible chaleur, il se boursoufle, éprouve la fusion ignée; si alors on le coule dans une lingotière, on obtient ce que l'on nomme *pierre infernale*. Chauffé à une température plus élevée, il se décompose entièrement et l'argent se réduit. La potasse ou la soude en précipite un oxide de couleur olive qui, mis en contact avec l'ammoniaque liquide, puis évaporé, donne lieu à une masse appelée *argent fulminant*.

On prépare le nitrate d'argent en traitant l'argent par de l'acide azotique, et concentrant la dissolution qui en résulte.

On se sert de l'azotate d'argent pour faire la *pierre infernale* que l'on emploie en médecine pour ronger les chairs baveuses et ranimer les ulcères indolents.

DES CHLORATES.

Tous les chlorates sont décomposés par le feu; ceux de la deuxième section, en donnant lieu à de l'oxigène, du chlore et un oxide, et tous les autres à de l'oxigène et à un chlorure. Mis sur les charbons ardents, ils en activent la combustion par leur oxigène, et on dit alors que le sel *fuse*. Tous les corps combustibles avides d'oxigène décomposent ces sels si subitement, qu'il en résulte une détonnation plus ou moins forte. Le mélange de

ces corps avec les chlorates constitue ce que l'on nomme *poudres fulminantes*.

L'eau dissout tous les chlorates, excepté le chlorate de protoxide de mercure ; leur dissolution n'est point troublée par l'azotate d'argent, ce qui les distingue des chlorures.

Dans les chlorates neutres l'oxigène de l'acide est à celui de la base, comme 5 : 1. = $RO, Ch^2 O^5$.

Caractères génériques. — Si un sel projeté sur des charbons ardents en active la combustion ; si, exposé à l'air, il ne répand aucune odeur de chlore ; si traité par l'acide sulfurique il dégage un gaz jaune d'odeur forte et analogue au chlore, si enfin sa dissolution n'est pas troublée par l'azotate d'argent, on aura la certitude que l'on a affaire à un chlorate.

CHLORATE DE POTASSE. — Le seul des chlorates employé. Ce sel est blanc, d'une saveur fraîche, un peu acerbe, cristallisant en lames rhomboïdales. Il fond au-dessous de la chaleur rouge, puis bout et se décompose en oxigène et en hyperchlorate, qui ne se décompose qu'à une bien plus haute température. Si on le mêle à un corps combustible, le soufre, par exemple, puis que l'on y verse une goutte d'acide sulfurique concentré, il en résulte une vive combustion due à la décomposition subite de l'acide chlorique ; aussi cette propriété est-elle mise à profit dans la fabrication des allumettes dites *oxigénées*.

Ce sel ne contenant pas d'eau, sa formule est $K O, Ch^2 O^5$.

Il est toujours un produit de l'art ; on se le procure en faisant passer un courant de chlore dans une dissolution concentrée de potasse ; le sel ne tarde pas à se précipiter en écailles brillantes. (Voyez page 445 pour la théorie.)

On s'en sert pour obtenir l'oxigène et le deutoxide de chlore, pour faire les allumettes oxigénées et pour faire des poudres fulminantes, dont on se sert comme amorce dans les fusils à piston.

POUDRES FULMINANTES. — Nous avons vu plus haut ce qu'on entendait par poudres fulminantes. Pour les préparer on se sert toujours de chlorate de potasse ; mais le soin à apporter dans leur préparation n'est pas le même. On commence par réduire en poudre séparément le chlorate et le corps combustible : celui-ci peut être du charbon, du soufre, du lycopode, du phosphore, un sulfure, etc. Cette pulvérisation achevée, on procède au mélange. Si le corps combustible est le charbon ou une matière vé-

gétale, on peut faire le mélange dans un mortier. Si, au contraire, c'est le soufre ou un sulfure, il faut faire le mélange avec la barbe d'une plume; enfin, pour le posphore, après l'avoir réduit en poudre en l'agitant dans l'eau chaude, on le recouvre d'essence de térébenthine, on le mêle au chlorate en se servant des barbes d'une plume, et on le divise par petites portions. Pour faire détonner toutes ces poudres, on n'a plus qu'à les placer sur une enclume et les frapper assez fortement avec un marteau. Remarquons cependant que celles à base de charbon ou de matières végétales ne détonnent bien que quand elles sont enveloppées de papier et soumises à un choc violent. Dans tous les cas, par le choc, les éléments se rapprochent, leur température s'élève; ce qui leur permet de réagir les uns sur les autres. Les gaz qui se forment se dégageant instantanément font entrer les molécules de l'air dans une forte vibration, d'où résulte l'explosion. Il est facile, du reste, de prévoir les résultats de cette décomposition, qui varient avec chaque corps combustible.

Les poudres fulminantes sont assez employées, on en fait des capsules pour les fusils à piston; on en fait des allumettes qui prennent feu par la simple percussion, etc.

HYPO-CHLORITES. (*Chlorites, chlorures d'oxides.*) — Les hypo-chlorites ont été jusqu'à présent assez peu étudiés; leur histoire, commencée par MM. Berzélius et Soubeiran, a été continuée par M. Balard, dans un travail dont nous avons donné un résumé succinct en parlant de l'acide hypo-chloreux.

Les hypo-chlorites ont une odeur de chlore, une saveur particulière; ils détruisent les couleurs bleues végétales. Ceux qui sont connus sont solubles dans l'eau et la dissolution possède la propriété décolorante au plus haut degré. Tous sont décomposés par la chaleur, il se dégage du chlore, et le sel se transforme en chlorate quand la chaleur est appliquée à la dissolution; il se dégage du chlore et de l'oxigène si la chaleur est directe, alors il reste un chlorure.

Exposés à l'air ils laissent dégager du chlore, c'est qu'alors l'acide carbonique de l'air s'unit à l'oxide et met l'acide hypo-chloreux à nu : celui-ci, réagissant sur le chlorure qui accompagne toujours l'hypo-chlorite, en oxide le métal pendant que le chlore du chlorure et celui de l'acide se dégagent, l'oxide formé au contraire se combine avec l'acide carbonique de l'air.

Tous les acides agissent sur eux de la même manière que l'acide carbonique.

Tous les corps combustibles les décomposent en s'emparant de l'oxigène de l'acide, voilà pourquoi ils agissent comme décolorants et comme désinfectants.

Ils sont composés de telle sorte que la quantité d'oxigène de l'acide est égale à celle de l'oxigène de l'acide $=$ R O, Ch² O. Ajoutons que tous ceux que l'on obtient dans les arts contiennent beaucoup de chlorure et plus ou moins de chlorate.

Trois hypo-chlorites sont employés, ce sont ceux de chaux, de soude et de potasse.

HYPO-CHLORITE DE SOUDE. (*Chlorite de soude, chlorure de soude*, etc.) On l'emploie toujours à l'état liquide; on peut l'obtenir par voie de double décomposition, en traitant l'hypo-chlorite de chaux par le carbonate de soude et filtrant; ordinairement on fait une dissolution faible de carbonate de soude et l'on y fait arriver un courant de chlore; une partie de carbonate passe à l'état de bi-carbonate de soude, l'autre devient soude; c'est avec elle que se passe toute la réaction. Cette soude se divise en deux parties, l'une qui cède 1 atome d'oxigène à 2 atomes de chlore pour former l'acide hypo-chloreux qui se combine à la soude non décomposée; l'atome de soude qui a perdu son oxigène se combine à 2 atomes de chlore pour former un chlorure. De plus, il se fait souvent un peu de chlorate; il résulte de cette réaction que ce sel est un mélange d'hypo-chlorite, de bi-carbonate de soude, de chlorure de sodium, et souvent d'un peu de chlorate de soude.

HYPO-CHLORITE DE POTASSE. (*Eau de Javelle.*) — En substituant, dans l'opération précédente, une dissolution de carbonate de potasse à celle de carbonate de soude, on obtient le liquide connu sous le nom d'*eau de Javelle.*

HYPO-CHLORITE DE CHAUX. (*Chlorite de chaux, chlorure de chaux.*) — Ce sel tel qu'il se prépare est solide, sous forme de poudre, mais il n'est employé qu'en dissolution ou divisé dans l'eau. On le prépare en grand en faisant arriver dans une chambre, où l'on a placé des tablettes contenant de la chaux hydratée, un courant de chlore; peu à peu celui-ci se combine à la chaux et produit l'hypo-chlorite, qui n'est qu'un mélange de chlorure de calcium et d'hypo-chlorite avec excès de base. Ce sel traité par l'eau abandonne à celle-ci son chlorure de calcium et son hypo-chlorite neutre pendant qu'il se précipite 2 atomes de chaux. La théorie est la même que pour les sels précédents.

On se sert de cet hypo-chlorite pour blanchir, de là le nom de poudre de blanchîment par lequel il était connu.

27° et 28°. CARACTÈRES GÉNÉRIQUES DES CHLORURES, CHLORURES DE SODIUM, DE BARYUM; BI-CHLORURE D'ÉTAIN; PROTO-CHLORURE D'ANTIMOINE; CHLORURES DE MERCURE, D'OR, DE PLATINE; CHLORURE DE COBALT; ENCRES SYMPATHIQUES.

DES CHLORURES. (*Hydro-chlorates.*) — Les chlorures se comportent de différentes manières quand on les expose à l'action du feu. Les chlorures d'or, de platine, de rhodium, se décomposent complètement; d'autres, tels que le bi-chlorure de cuivre, passent à un état moindre de *chloruration;* enfin d'autres se fondent; tels sont les chlorures alcalins, etc. Beaucoup sont volatiles.

L'eau dissout la plupart des chlorures; mais quelques uns, tels que les chlorures de quelques métaux acidifiables, la décomposent en donnant lieu à de l'acide chlorhydrique et à un acide métallique. Le chlorure d'argent, le proto-chlorure de mercure, etc., sont completement insolubles.

L'acide sulfurique les décompose en dégageant de l'acide chlorhydrique, et formant un sulfate; l'acide azotique les décompose en partie, et forme de l'eau régaie.

Caractères génériques. — Toutes les fois qu'un sel, traité par l'acide sulfurique, fait effervescence et répand dans l'air des vapeurs blanches et piquantes; que, traité par le bi-oxide de manganèse et l'acide sulfurique, il donne lieu à un dégagement de chlore; que, dissous, s'il en est susceptible, et, traité par de l'azotate d'argent, il forme un précipité caillebotté, soluble dans l'ammoniaque, et insoluble dans l'acide azotique, on en conclura que ce sel est un *chlorure.*

Les chlorures sont toujours composés de telle manière qu'ils correspondent aux oxides d'un même métal; d'où il résulte que 2 atomes de chlore équivalent à 1 atome d'oxigène; un chlorure qui correspond à un protoxide, formé de 1 atome d'oxigène, doit contenir 2 atomes de chlore $= R\ Ch^2$.

Nous ne parlerons que des chlorures les plus employés.

CHLORURE DE SODIUM. (*Sel marin*, *sel de cuisine*, *hydro-chlorate de soude*, etc.) — Ce sel est blanc, d'une saveur

qui plaît à beaucoup d'animaux, et qui est caractéristique ; il est inaltérable à l'air, à moins qu'il ne contienne des sels qui le rendent déliquescent ; il ne contient que de l'eau d'interposition, ce qui fait qu'il décrépite quand on le chauffe à la chaleur rouge ; il entre en fusion, et se volatilise si la température est très élevée. Sa formule est Na Ch^2.

L'eau dissout à peu de chose près autant de sel à froid qu'à chaud.

Le sel marin se rencontre en masses plus ou moins considérables en Pologne, en Hongrie, en Espagne, en France, etc. ; il constitue alors le *sel gemme*. A l'état liquide, il se trouve dans les eaux de quelques sources, de plusieurs lacs, et surtout dans les eaux de la mer.

Pour l'obtenir, on l'extrait du sein de la terre ; et s'il n'est pas pur, on le fait dissoudre dans l'eau que l'on évapore ensuite. Quand l'eau le contient à l'état de dissolution, c'est aussi par évaporation qu'on parvient à l'obtenir ; mais les moyens évaporatoires varient beaucoup. Comme il n'entre point dans notre but de les décrire, nous les passerons sous silence.

Tout le monde connaît les usages du sel marin. En chimie, on s'en sert pour préparer le chlore, etc. ; dans les arts, pour obtenir la soude artificielle, l'acide chlorhydrique, les hypo-chlorites, etc.

CHLORURE DE BARYUM. — Ce sel (Ba Ch^2) est âcre, très piquant, vénéneux, inaltérable à l'air, soluble dans l'eau, plus à chaud qu'à froid, cristallisant par le refroidissement en prismes à quatre pans très larges et peu épais. Exposé au feu, il décrépite et fond. Mis en contact avec une eau qui contienne la plus petite quantité d'un sulfate, il y occasionne un précipité blanc de sulfate de baryte.

On le prépare en faisant un mélange de sulfate de baryte et de chlorure de calcium, le calcinant, le traitant ensuite par l'eau bouillante qui dissout le chlorure de baryum formé : celui-ci cristallise après l'évaporation de la dissolution. Il faut éviter de laisser l'eau long-temps en contact avec le mélange calciné, autrement il se reformerait du sulfate de baryte.

En médecine, on s'en sert contre les scrofules et les tumeurs blanches ; et en chimie, comme réactif.

CHLORURE DE CALCIUM. — Acre, très piquant, amer, très déliquescent, ce qui fait qu'on l'emploie pour dessécher les gaz. Chauffé dans un creuset, il fond et donne lieu à un solide

qui, frotté, paraît lumineux à l'obscurité, et que l'on nomme *phosphore de Homberg*.

S'obtient en traitant le carbonate de chaux par l'acide chlorhydrique, et évaporant le liquide qui en résulte. Ensuite on le calcine pour l'obtenir sec, et le rendre propre à absorber l'humidité.

CHLORURES D'ÉTAIN. — Le *bi-chlorure d'étain* (Sn Ch4) anhydre est liquide, transparent, très limpide, très volatil, d'une odeur piquante et insupportable, d'une saveur très caustique. Exposé à l'air, il s'y vaporise et y répand des fumées très épaisses. Mis en contact avec peu d'eau, il cristallise en donnant lieu à un petit bruit, et à de la chaleur due à son avidité pour l'eau. Dans une plus grande quantité de ce liquide, il s'y dissout entièrement.

On l'obtient en faisant passer un courant de chlore dans une dissolution de proto-chlorure d'étain, et concentrant la liqueur. On l'obtient encore directement en traitant l'étain par l'eau régale.

Le *proto-chlorure d'étain* ($Sn\ Ch^2$) est en aiguilles blanches, d'une saveur styptique, plus soluble à chaud qu'à froid, cristallisant en gros octaèdres, si la dissolution est peu concentrée; enlève l'oxigène à une foule de corps, et passe à l'état d'oxido-chlorure insoluble.

On l'obtient à l'état hydraté, en traitant l'étain pur en grenaille par l'acide chlorhydrique liquide, et rapprochant la liqueur.

Ce sel est employé dans les fabriques de toiles peintes, pour enlever certaines couleurs. Il sert à la préparation du précipité pourpre de Cassius. Quant à la teinture écarlate, on préfère, comme mordant, le bi-chlorure d'étain.

PROTO-CHLORURE D'ANTIMOINE. (*Beurre d'antimoine.*) — Blanc, demi-transparent, très caustique, paraissant onctueux. Fusible au-dessous de la chaleur de l'eau bouillante, et cristallisant en tétraèdres par le refroidissement. Exposé à une chaleur au-dessous du rouge, il se volatilise. A l'air, il se résout en liqueur, en absorbant l'humidité que contient ce fluide. Mis en contact avec l'eau en assez grande quantité, il en résulte un précipité blanc de protoxide d'antimoine, et une liqueur contenant de l'acide chlorhydrique et du proto-chlorure non décomposé.

On peut l'obtenir directement en combinant le chlore avec l'antimoine. Mais le procédé le plus suivi aujourd'hui consiste à traiter le sulfure d'antimoine par l'acide chlorhydrique, il se

fait de l'acide sulfhydrique et du chlorure d'antimoine qui reste dissous; on concentre la liqueur, et on la distille pour obtenir le proto-chlorure.

On l'emploie pour bronzer les métaux, pour obtenir l'oxido-chlorure d'antimoine (poudre d'Algaroth), ce qui se fait en le versant dans huit fois son poids d'eau. En médecine, on s'en sert comme corrosif pour cautériser.

CHLORURES DE MERCURE. (*Proto-chlorure* (Hg Ch), *mercure doux*, *calomel*, *panacée mercurielle.*) — Ce sel est blanc, insipide, volatil sans décomposition, inaltérable à l'air, insoluble dans l'eau, cristallisable par voie de sublimation en prismes quadrilatères. La lumière le noircit; il ne se dissout pas dans l'acide chlorhydrique, mais bien dans le chlore; alors il passe à l'état de bi-chlorure. Mis en contact avec une dissolution alcaline, il noircit et se transforme en oxide de mercure.

On prépare le proto-chlorure de mercure par voie de double décomposition, en versant l'une dans l'autre une dissolution d'azotate, de protoxide de mercure, et une dissolution de chlorure de sodium, puis lavant le précipité. On nommait autrefois ce proto-chlorure *précipité blanc.* On le prépare encore en sublimant un mélange de sulfate de protoxide de mercure et du sel marin; ou bien en triturant parties égales de mercure et de bi-chlorure de mercure, et sublimant le mélange.

On s'en sert comme purgatif et antisyphilitique; il agit beaucoup moins énergiquement que le sublimé.

Bi-chlorure, *sublimé corrosif* (Hg Ch^2), blanc, inaltérable à l'air, d'une saveur styptique très désagréable, très vénéneux, même à la dose de quelques grains. Il se vaporise sans altération, et cristallise alors en petites aiguilles prismatiques. Cette vapeur a pour caractères de blanchir une lame de cuivre. L'eau en dissout 1/20 à la température ordinaire, et 1/3 à celle de l'eau bouillante.

L'alcool et l'éther le dissolvent aussi très bien.

L'albumine et le gluten décomposent instantanément le bi-chlorure de mercure. Aussi les a-t-on conseillés dans les cas d'empoisonnements par ce sel; dans ce cas, le chlorure passe à l'état de proto-chlorure, et le chlore se combine avec le gluten et l'albumine, forme une combinaison qui s'unit au proto-chlorure, le rend plus actif, mais infiniment moins que le bi-chlorure.

On se procure ce sel en chauffant dans des matras un mélange intime de quatre parties de sel commun, d'une partie de bi-oxide de manganèse, et cinq parties de sulfate de bi-oxide de mercure.

Bientôt la réaction s'établit, et le bi-chlorure formé vient se sublimer à la partie supérieure du matras. Le résidu n'est plus que du sulfate de soude, et du manganèse moins oxidé. Remarquons que le manganèse n'est employé que pour transformer les portions de protoxide de mercure en bi-oxide de mercure.

Le sublimé est un médicament précieux contre les maladies syphilitiques. On s'en sert aussi pour conserver les matières animales.

CHLORURES D'OR.

PROTO-CHLORURE. — Ce sel est légèrement jaune, décomposable par la chaleur en or et en chlore, insoluble dans l'eau froide, et se transformant en or et en tri-chlorure par l'eau bouillante; sa formule est (Au Ch). On le prépare en dissolvant des feuilles d'or dans de l'eau régale un peu étendue d'eau, et évaporant à siccité à environ 200° de température TRI-CHLORURE. Sous forme de masse cristalline, d'une couleur rouge intense. Exposé au feu, il commence par fondre, puis se décompose complétement; il est déliquescent et très soluble dans l'eau. On l'obtient de la même manière que le précédent, si ce n'est qu'il faut cesser l'évaporation, lorsque le chlorure a pris une couleur rouge-rubis. On laisse refroidir, et le chlorure cristallise.

Combiné à l'acide chlorhydrique, il forme le chlorhydrate de tri-chlorure, qui est un sel jaune pâle, en aiguilles cristallines, d'une saveur très styptique et très désagréable. Desséché dans le vide, il se colore en vert. Exposé au feu, il abandonne d'abord son acide chlorhydrique, puis se décompose en chlore et en or. L'eau le dissout parfaitement : cette dissolution produit sur la peau des taches pourpres, qui ne s'en vont qu'avec l'épiderme. On attribue cette coloration à la réduction de l'or. Tous les corps avides d'hydrogène la décomposent, et en précipitent de l'or. Le sulfate de protoxide de fer y forme un précipité d'or très divisé. Si l'on verse dans cette dissolution un mélange de proto-chlorure et de bi-chlorure d'étain, il se forme un précipité pourpre, que l'on connaît sous le nom de *pourpre de Cassius*. On ne sait pas bien encore ce qui se passe dans cette réaction; cependant, selon M. Berzélius, ce précipité peut être considéré comme un double stannate hydraté de protoxide d'or et de protoxide d'étain. Cette manière de voir est partagée par beau-

coup de chimistes. MM. Proust et Buisson pensent que l'or y est à l'état métallique.

Si l'on y verse de l'ammoniaque, il se fait un précipité jaunâtre, qui, lavé et séché doucement, constitue l'*or fulminant*.

Le chlorhydrate de tri chlorure d'or, que l'on emploie aussi comme réactif, s'obtient en dissolvant l'or dans l'eau régale, et concentrant convenablement la liqueur.

CHLORURES DE PLATINE.

PROTO-CHLORURE. — Sous forme de poudre grise verdâtre, insoluble dans l'eau, décomposable par une chaleur rouge, se prépare comme le proto-chlorure d'or.

BI-CHLORURE. — D'une couleur rouge orangée, cristallisant en prismes; il est déliquescent, soluble dans l'eau et l'alcool. Sa dissolution aqueuse concentrée est rouge brun; elle n'est que jaune, si elle est étendue.

Quand on verse de l'ammoniaque dans la dissolution concentrée, on obtient un précipité de *chlorhydrate, de platine et d'ammoniaque*, qui, calciné, laisse pour résidu le platine sous forme d'éponge. On l'obtient en dissolvant le platine dans l'eau régale.

CHLORURE DE COBALT. — ($Co\,Ch^2$). Il est sous forme d'écailles gris de lin, lorsqu'il est anhydre. Chauffé à l'abri du contact de l'air, il peut être volatilisé. Il possède une saveur très styptique. Soluble dans l'eau, si sa solution est concentrée, elle a une belle couleur bleue; étendue, elle passe au rose. Cette dissolution, convenablement évaporée, donne des cristaux rouge rubis de chlorure hydraté. L'alcool le dissout.

Lorsque la dissolution n'est que rose, si l'on vient à tracer des caractères sur du papier, en séchant ils disparaissent. Mais si on les chauffe, ils apparaissent sur-le-champ, et deviennent bleus en perdant une portion de l'eau qu'ils contiennent. Par le refroidissement, ils disparaissent peu à peu, parce qu'ils reprennent à l'air un peu d'humidité. Si on les chauffait trop fort, la couleur noire qui se forme ne disparaîtrait plus par le refroidissement. Cette dissolution, en raison de cette propriété, porte le nom d'*encre de sympathie*.

Lorsqu'on mêle une dissolution de ce chlorure, qui est bleue, avec une dissolution de perchlorure de fer qui est jaune, on obtient l'encre de sympathie verte.

On peut préparer ce chlorure en faisant passer un courant de chlore sur du cobalt chauffé au rouge. Dans ce cas, il est anhydre; on peut encore l'obtenir en traitant le carbonate de cobalt par l'acide chlorhydrique, et concentrant la liqueur; mais, dans ce cas, les cristaux que l'on obtient sont hydratés.

29°. CHLORHYDRATE D'AMMONIAQUE; SILICATES, VERRES, POTERIES, MORTIERS ET MASTICS; PIERRES PRÉCIEUSES.

CHLORHYDRATE D'AMMONIAQUE. (*Sel ammoniac.*) — Ce sel est blanc, doué d'une saveur piquante, soluble dans moins de trois parties d'eau à 15°, et dans une moindre quantité d'eau bouillante. Il cristallise en longues aiguilles qui se groupent sous forme de barbes de plumes. Soumis à l'action du feu, il fond dans son eau de cristallisation, bout, et puis se sublime sous forme de vapeurs blanches. Chauffé avec de la craie, il se dégage du carbonate d'ammoniaque, et il reste du chlorure de calcium.

On trouve le sel ammoniac dans les urines humaines et dans la fiente de quelques animaux, des chameaux en particulier. On l'obtient en sublimant la suie qui résulte de la combustion de la fiente des chameaux. En France, on l'obtient en décomposant le sulfate d'ammoniaque par le chlorure de sodium.

On se sert de ce sel pour faire l'ammoniaque; le carbonate d'ammoniaque est pour décaper les métaux : on l'emploie en médecine comme stimulant.

SILICATES.

Aucun silicate n'est décomposable par la chaleur, seulement les uns sont facilement fusibles, d'autres sont difficiles à fondre, enfin d'autres sont totalement infusibles.

Le charbon n'attaque ni les silicates alcalins ni les silicates terreux. Il transforme, au contraire, les silicates de manganèse et de fer en siliciures. Probablement d'autres silicates éprouveraient une semblable transformation.

L'eau ne dissout que les silicates de potasse et de soude basiques. Tous les silicates sont attaqués par l'acide fluorhydrique; il se forme alors de l'eau et de l'acide fluosilicique, aussi se sert-on de cet acide pour attaquer le verre. Parmi les autres acides, il

n'y a que les acides borique et phosphorique qui les attaquent, encore faut-il que la température soit très élevée.

Selon M. Berzélius, les silicates neutres sont ceux chez lesquels le rapport de l'oxigène de l'oxide est à celui de la base comme $1 : 3 = RO, SiO^3$.

VERRES.

Les combinaisons de l'acide silicique avec les bases portent le nom de *verres*. Nous allons traiter des différents verres employés.

VERRE SOLUBLE. — C'est un silicate de potasse ou de soude qui jouit de la propriété de pouvoir être appliqué comme un vernis sur les bois, et les tissus inflammables, et de les rendre incombustibles.

Ce verre est solide, incolore et fusible, d'une saveur alcaline, rougissant le papier de curcuma. A l'air, il se fendille, s'effleurit un peu en attirant l'humidité. L'eau ne le dissout bien que quand elle est bouillante. Cette dissolution concentrée est visqueuse, et peut se tirer en fils très fins comme le verre fondu. Si elle est étendue, elle se trouble à l'air ; le précipité qui se forme est de l'acide silicique, pendant que la potasse absorbe l'acide carbonique de l'air.

Pour l'obtenir, on calcine 4 parties de charbon, 10 parties de carbonate de potasse, et 15 parties de sable fin. Le charbon est employé uniquement pour transformer l'acide carbonique en oxide de carbone, l'acide silicique seul ne pouvant opérer la décomposition du carbonate.

VERRE DE BOHÊME ET CROWN-GLASS. — Composé d'acide silicique et de potasse; il contient en outre de faibles quantités de chaux et d'alumine; il est incolore, léger, sans bulles et très limpide. On en fait des vitres, on en couvre les dessins encadrés, etc.

Le crown-glass a une composition analogue ; il est employé à fabriquer les lunettes de spectacle, des lentilles grossissantes, et des instruments d'astronomie.

VERRE A VITRES. — Il est tantôt *blanc*, tantôt *demi-blanc*. On l'emploie très souvent, non seulement pour les vitres, mais encore pour les tableaux, les pendules, etc.

En France, on le fabrique avec le sulfate de soude et la chaux

en quantités variables, mais telles que la silice contienne quatre fois l'oxigène des bases.

La composition suivante donne un verre très beau.

Sable	100 p.	
Craie. . . . . 35 à	40	
Carbonate de soude sec . 30 à	35	
Groisil.	180	
Bi-oxide de manganèse . . .	0,25	quelquefois.
Acide arsénieux.	0,20	quelquefois.

VERRE A GLACES. — Ce verre ne diffère du précédent que par une proportion plus forte d'acide silicique qui contient six fois l'oxigène des bases.

On le prépare avec

Sable très blanc.	300 p.
Carbonate de soude sec. . . .	100
Chaux éteinte à l'air.	43
Rognures	300

VERRE A BOUTEILLES. — Il se prépare d'après des doses différentes selon les fabriques. La composition suivante donne un verre qui fond plus vite et est plus avantageux, mais il donne plus de fiel de verre.

Sable jaune.	100 p.
Soude brute de varech . . .	200
Cendres neuves.	50
Fragments de bouteilles. . .	100

CRISTAL. — C'est un silicate double de potasse et de plomb, plus dense, plus facile à tailler, et doué d'un pouvoir réfringent plus grand que le verre ordinaire. On le choisit incolore et limpide.

Pour arriver à l'avoir beau, il faut faire un choix scrupuleux des substances qui le composent.

On connaît plusieurs dosages; le suivant donne un très beau produit :

Sable pur.	300 p.	
Minium.	200	
Carbonate de potasse pur. .	100	
Groisil	300	
Oxide de manganèse.	0,45	S'il le faut.
Acide arsénieux	0,60	S'il le faut.

Le *flint-glass* et le *strass* ont à peu près la même composition. Le premier sert à faire les instruments d'optique, et le second sert à imiter les pierres fines. On y parvient en le colorant avec divers oxides.

ÉMAUX.

On connaît deux sortes d'émaux : les émaux transparents qui sont des verres à base de plomb, ordinairement colorés par un ou plusieurs oxides; et les émaux opaques qui contiennent, en outre, du bi-oxide d'étain combiné au plomb à l'état de stannate; ce sont surtout ces derniers qui portent le nom d'émaux.

Les émaux s'appliquent par la fusion sur les métaux, les poteries, etc. C'est surtout l'or, l'argent et le cuivre que l'on émaille. L'émail blanc est celui dont on se sert pour recouvrir la faïence.

DES POTERIES.

On donne le nom de poteries aux vases faits avec des argiles façonnées et cuites; celles qui sont le plus employées sont les creusets, les faïences grossières, *briques*, *tuiles*, *terrines;* les faïences fines nommées *terre blanche*, *terre de pipe*, *terre anglaise*, *porcelaine*, etc.

Ces poteries ont pour base la silice et l'alumine. M. Dumas les divise comme il suit :

Silice, alumine, chaux.	Grès, faïences, creusets, briques, carreaux, tuiles, etc.
Silice, alumine, oxide de fer	
Silice, alumine, chaux, oxide de fer	
Silice, alumine, potasse..	porcelaine dure.
Silice, alumine, soude..	porcelaine tendre.
Silice, alumine, manganèse.. . . .	porcelaine de Piémont.
Silice, alumine, baryte.	grès fin anglais.

On voit de suite que ce sont des silicates d'alumine unis à d'autres silicates.

DES MORTIERS ET MASTICS.

On appelle mortiers des mélanges de chaux, d'eau et de sable quartzeux, ou de brique, de porcelaine, etc.; selon que la chaux

qu'on emploie est ou n'est pas *hydraulique*, on obtient des mortiers bien différents.

CHAUX GRASSE. — Elle est à proprement parler la chaux pure ou presque pure que l'on obtient en calcinant le marbre, la craie, ou la pierre à chaux. Elle n'est pas hydraulique.

CHAUX MAIGRE. — Elle possède des propriétés analogues à la précédente; cependant à poids égal elle donne moins de chaleur, elle a peu de liant et ne peut être polie une fois qu'elle est solidifiée. Elle se forme quand on calcine les pierres à chaux mélangées d'un sable plus ou moins grossier.

Ces deux sortes de chaux, réduites en pâte et exposées à l'air, absorbent l'acide carbonique et durcissent considérablement.

CHAUX HYDRAULIQUE. — Quand l'argile fait partie de la chaux et qu'elle y entre pour 10 à 30 pour cent, on a une chaux qui est dite *hydraulique*; c'est-à-dire que, réduite en pâte, elle possède la propriété de durcir considérablement sous l'eau. Il faut seulement que, dans la calcination des pierres à chaux, la chaleur n'ait pas été portée jusqu'à leur point de fusion.

M. Berthier a vu que 6/100 d'argile donnent une chaux sensiblement hydraulique, que 15 à 20/100 donnent une chaux très hydraulique.

Celle qui contient 25 à 30/100 d'argile, constitue le *ciment romain.*

Cette chaux réduite en pâte et durcie se polit facilement.

D'après ce que nous venons de voir, on conçoit qu'il est facile d'arriver à faire de la chaux hydraulique de toutes pièces, en calcinant des doses convenables de substances. Cette chaux constitue la *chaux hydraulique artificielle.*

MORTIER A CHAUX NON HYDRAULIQUE. — C'est le mortier ordinaire. On l'obtient en éteignant la chaux avec de l'eau, et le mêlant avec plus ou moins de sable quartzeux. On l'emploie pour bâtir. La dureté qu'il prend provient uniquement de ce qu'il absorbe l'acide carbonique de l'air, et forme un carbonate.

MORTIER A CHAUX HYDRAULIQUE. — Nous n'ajouterons rien à ce que nous avons dit précédemment.

MASTICS.

On connaît plusieurs espèces de mastics : les uns renferment du goudron que l'on mêle avec de la poudre de briques ou avec

des pierres calcaires ou siliceuses, ou bien encore avec de l'argile, etc. Celui que l'on emploie avec succès pour couvrir les terrasses, revêtir les bassins, souder les pierres, etc., se fait avec 9 parties de briques ou d'argile bien cuite, 1 partie de litharge et quantité suffisante d'huile, que l'on mélange bien avec l'huile, de manière à ce que le tout ait la consistance du plâtre gâché. Avant de l'employer il faut avoir le soin de mouiller légèrement les corps sur lesquels on doit l'appliquer, autrement l'huile s'infiltrerait et empêcherait que le mastic ne prît la dureté qu'on désire.

M. Vicat forme un mastic très tenace en faisant bouillir 16 parties de goudron végétal dans lequel on verse peu à peu 36 parties de poussière de ciment rouge de brique, en ayant soin de brasser fortement.

PIERRES PRÉCIEUSES ARTIFICIELLES.

Toutes ces pierres ont le *strass* pour base, auquel on ajoute pour le colorer differents oxides.

TOPAZE. — Cette pierre pendant sa fabrication offre des changements de couleur; elle passe du blanc au jaune, au violet et au rouge pourpre, selon la température et la durée du feu. Les proportions que M. Douault indique pour obtenir une belle topaze, sont:

Strass.	1 on. 6 gr.	
Verre d'antimoine . . .		43 grains.
Pourpre de Cassius . . .		1

Quelquefois la matière reste opaque, elle sert alors à faire le rubis.

RUBIS. — Une partie de matière topaze opaque et 8 parties de strass forment un beau cristal jaunâtre qui, traité par le chalumeau, donne un superbe rubis.

ÉMÉRAUDE. — On imite le mieux l'éméraude naturelle en prenant:

Strass.	8 on.
Oxide de cuivre. . .	42 gr.
Oxide de chrome . . .	2

SAPHIR. — En se servant de :

Strass très blanc . . .	8 on.	
Oxide de cobalt pur. .		68 gr.

on obtient un saphir d'un beau bleu oriental.

AMÉTHYSTE. — M. Lançon préfère, à toutes les doses connues, les proportions suivantes :

Strass.	1 liv.	
Oxide de manganèse		15 à 24 gr.
Oxide de cobalt.		1

AIGUE-MARINE. — Peu recherchée même lorsqu'elle est naturelle, s'obtient en mêlant 6 onces de strass avec 24 gros de verre d'antimoine et 1 gros 1/2 d'oxide de cobalt.

GRENAT SYRIEN. —Les anciens le nommaient *escarboucle* ; il est d'un rouge vif très agréable. On l'obtient d'après les doses suivantes :

Strass.	7 gr.	8 grains.
Verre d'antimoine. . . .	3 1/2	4
Pourpre de Cassius . . .		2
Oxide de manganèse . . .		2

Comme *modus faciendi* de toutes ces pierres, on recommande la pureté des substances, leur parfaite ténuité, un feu gradué, bien égal dans son *maximum* de température, et soutenu pendant 24 à 30 heures, et enfin un refroidissement très lent.

CHIMIE ORGANIQUE.

GÉNÉRALITÉS SUR LES MATIÈRES VÉGÉTALES ET ANIMALES.

On nomme *chimie organique* cette partie de la chimie dans laquelle on étudie les différents produits végétaux ou animaux.

Indépendamment de quelques autres principes dont nous avons parlé, les matières organiques sont des corps ternaires ou quaternaires, formés de carbone, d'hydrogène, d'oxigène et d'azote. Il est vrai que l'on peut dans beaucoup de cas admettre, dans ces matières organiques, l'existence de corps binaires qui se trouvent combinés deux à deux, trois à trois, de manière à former le corps organique.

On conçoit que ces substances, étant très complexes, doivent,

sous de certaines influences, se décomposer facilement : aussi l'air, le feu, l'eau, etc., sont-ils des agents qui déterminent assez facilement, chez eux, une décomposition de laquelle résultent ordinairement des corps plus stables, par cela même que souvent ils sont moins complexes.

On divisait autrefois cette partie de la chimie en *chimie végétale* et *chimie animale*. La première comprenait l'étude des végétaux que l'on ne considérait que comme formés de carbone, d'hydrogène et d'oxigène; la seconde comprenait l'étude des matières animales que l'on considérait comme formées des mêmes principes auxquels était associé l'azote. Bientôt on reconnut que certaines substances, que l'on regardait comme étant végétales, contenaient de l'azote, tandis que certaines autres que l'on croyait contenir de l'azote n'en démontraient pas à l'analyse; de là la réunion de ces deux branches sous le nom de *chimie organique*, qui est aujourd'hui généralement adopté. Seulement on conserve toujours le nom de *matières animales* pour celles de ces substances qui contiennent de l'azote, et celui de *matières végetales* pour celles qui ne contiennent que le carbone, l'hydrogène et l'oxigène. Il en résulte donc naturellement deux ordres de substances que nous traiterons en deux sections.

Toutes ces matières sont formées de diverses substances que l'on parvient à isoler et qui sont parfaitement définies, c'est-à-dire qu'elles se présentent à nous toujours avec les mêmes propriétés, et que l'analyse y démontre constamment les mêmes principes dans les mêmes proportions. Ces substances composent ce que l'on connaît sous le nom de *principes immédiats*. Certaines de ces substances elles-mêmes peuvent contenir les quatre éléments que l'on trouve dans les matières animales, certaines autres n'en contiennent que trois, d'autres n'en contiennent que deux.

Par substances organiques non azotées, nous comprenons ici toutes les substances tant animales que végétales qui ne contiennent pas d'azote. On peut les diviser en corps *acides* et en corps *neutres* ou *indifférents*. Ces substances sont soumises à des lois de composition moins simples que celles que nous offrent les substances inorganiques, mais cependant assez générales pour expliquer la plupart des faits suivants.

1° Lorsque, dans une substance, la quantité d'oxigène est à la quantité d'hydrogène dans un rapport plus grand que dans l'eau, toujours elle est acide.

2° Quand le rapport est le même que dans l'eau, la substance peut être acide, mais le plus souvent elle est indifférente.

3° Si la substance contient beaucoup de carbone et en même temps beaucoup d'hydrogène, alors elle est inflammable et huileuse, résineuse, alcoolique ou éthérée.

4° Aucune substance ne contient assez d'oxigène pour brûler tout son hydrogène et son carbone, de manière à les transformer en eau et acide carbonique.

5° Plusieurs substances ont un radical commun qui, en se combinant avec diverses proportions du même corps, peuvent former des groupes naturels, par exemple :

Le bi-carbure d'hydrogène $C^2 H^2$ et l'eau forment l'éther $= 4\ C^2 H^2,\ H^2 O$;

L'alcool $= 4\ C^2 H^2,\ 2\ H^2 O$.

2 atomes de benzoïle ($C^{38} H^{10} O^2$) forment, en s'unissant à 2 atomes d'hydrogène — 2 atomes d'essence d'amandes amères ($C^{28} H^{10} O^2, H^2$);

1 atome d'oxigène — 1 atome d'acide benzoïque ($C^{28} H^{10} O^2 + O$);

1 atome de soufre. — 1 atome de sulfure de benzoïle ($C^{28} H^{10} O^2, S$);

2 atome de chlore — 1 atome de chlorure de benzoïle ($C^{28} H^{10} O^2, Ch^2$).

6° Un assez grand nombre de substances organiques peuvent être représentées dans leur composition par 2 corps, exemple :

L'acide acétique par de l'acide carbonique et de l'acétone $C^8 H^6 O^3 = C^2 O^2 + C^6 H^6 O$;

L'éther, par de l'eau et du bi-carbure d'hydrogène $C^8 H^{10} O = C^8 H^8 + H^2 O$, etc.

7° Selon M. Dumas, un corps hydrogéné, soumis à l'action déshydrogénante du chlore, du brome, de l'iode, de l'oxigène, etc., gagne, par chaque atome d'hydrogène qu'il perd, 1 atome de chlore, de brome, d'iode, et 1/2 atome d'oxigène.

La même règle s'applique à un corps hydrogéné qui contient de l'oxigène.

Si le corps hydrogéné renferme de l'eau, celle-ci perd son hydrogène sans que rien le remplace ; mais, à partir de ce point, l'hydrogène enlevé se trouve remplacé comme il vient d'être dit : la loi que nous venons de présenter est connue sous le nom de *théorie des substitutions*.

Propriétés physiques. — Toutes ces substances sont solides ou

liquides, à la température et sous la pression ordinaires. Parmi elles, les unes sont fixes, les autres sont volatiles, sans décomposition, exemple le camphre, l'alcool.

Quant aux autres propriétés physiques, elles sont trop variables pour être exprimées d'une manière générale.

Propriétés chimiques.— Toutes ces substances, exposées à une chaleur rouge-blanc, se décomposent et fournissent de l'oxide de carbone, de l'hydrogène carboné et du charbon. Si la chaleur est moins forte, et si surtout on ne fait pas passer les produits gazeux à travers un tube de porcelaine incandescent, alors d'autres produits s'ajoutent aux précédents; en effet, il se forme de l'eau, de l'acide acétique, de l'huile, du goudron.

On remarque que les produits les plus oxigénés, eau et acide acétique, se forment les premiers, puis l'acide carbonique et l'oxide de carbone, et que ce n'est qu'à la fin que se forment les produits hydrogénés (1).

Quand la substance est riche en oxigène, elle donne lieu à beaucoup d'acide et d'eau, tandis que celles qui sont riches en hydrogène et en carbone donnent beaucoup d'huiles et d'hydrogène carboné.

Si, au lieu de chauffer les substances à une température élevée, on les chauffe avec soin et à une température constante qui varie entre 150 et 250°, M. Pelouze a vu qu'alors beaucoup de ces substances se transformaient en eau, en acide carbonique et en un autre corps, qui, le plus souvent, se sublime à la voûte de la cornue où se fait l'expérience; M. Pelouze dit alors que la *distillation est blanche*.

L'air et l'oxigène secs sont sans action sur les substances organiques. S'ils étaient humides, leur décomposition aurait lieu et il se formerait de l'eau et de l'acide carbonique. Chauffées avec l'air ou l'oxigène, ces substances se décomposent beaucoup plus vite en formant les mêmes produits et donnant lieu à un dégagement de calorique et de lumière. C'est un phénomène de vraie combustion.

Les substances organiques dans lesquelles l'oxigène domine sont en général peu altérables par cet agent.

(1) Cependant tous les produits passent en même temps parce que la chaleur n'étant pas la même dans toute la masse, la décomposition finit dans une couche quand elle commence dans une autre.

Le soufre et le phosphore se dissolvent dans les huiles, et l'alcool surtout à chaud, d'où ils se déposent par refroidissement sous forme de cristaux.

Le chlore attaque toutes les substances organiques, à l'exception de quelques acides, en s'emparant d'une partie de leur hydrogène, et formant de l'acide chlorhydrique. Voilà pourquoi il réduit les couleurs végétales.

Le brome et l'iode agissent de la même manière, mais avec moins d'énergie.

Le potassium et le sodium peuvent s'emparer de l'oxigène de toutes les substances qui en contiennent, et donner lieu à des produits peu étudiés.

L'eau dissout beaucoup de ces substances; il est remarquable qu'elle dissout de préférence les plus oxigénées, telles sont les acides végétaux, la gomme, le sucre, etc., pendant qu'elle ne dissout que fort peu de substances dans lesquelles l'hydrogène prédomine.

L'alcool et l'éther dissolvent beaucoup mieux les corps dans lesquels l'hydrogène et les carbones sont prédominants, tels que les huiles, résines, etc., tandis que les acides s'y dissolvent mal.

L'acide sulfurique agit sur elles d'une manière très variée. Quelquefois il se combine avec elles; souvent il les décompose en occasionnant la formation d'une certaine quantité d'eau aux dépens de leur principe, et les transforme en d'autres matières. Par exemple, quand on le chauffe avec de l'alcool, en enlevant à celui-ci une portion de son eau, il le transforme en éther. Enfin lui-même peut se décomposer tout en décomposant les substances avec lesquelles il réagit.

L'acide azotique décompose presque toutes les matières organiques, soit à froid, soit à chaud (1); en même temps il se décompose lui-même, cède son oxigène à l'hydrogène et au carbone de la substance, qui se transforme en eau et en acide carbonique, et passe à l'état d'acide hypo-azotique, ou d'oxide d'azote, ou d'azote, tandis que la substance se transforme en divers acides, dont l'un est presque toujours de l'acide oxalique; voilà ce qui arrive pour le sucre, l'amidon, le ligneux, etc. De plus, il se forme de l'acide oxalhydrique. La gomme, le sucre de lait, l'acide pectique donnent de l'acide mucique et de l'acide oxalique.

(1) Selon M. Erdmann, cet acide est identique avec l'acide métatartrique.

Les bases se combinent bien aux divers acides organiques. De cette combinaison, qui se fait toujours en vertu de la loi des proportions multiples, résultent des sels qui pour la plupart sont cristallisables et bien définis; d'autres, au contraire, ne cristallisent que confusément.

Quelques oxides métalliques sont décomposés par les substances organiques à une température élevée, et il en résulte de l'acide carbonique qui se forme aux dépens de l'hydrogène et du carbone de la substance organique. L'oxide de cuivre, par exemple, est souvent employé pour décomposer et faire l'analyse de ces substances. Si l'on ne fait que chauffer à une température peu élevée les corps gras avec les oxides de la première section, on les transforme en acides *stéarique*, *margarique*, *oléique*, et en une matière appelée *glycérine*. L'acide formé, en s'unissant à l'oxide, donne lieu à ce que l'on connaît sous le nom de *savons*.

Beaucoup de substances organiques, chauffées avec de la potasse ou de la soude à une température de 150 à 200 degrés, se décomposent en donnant lieu à la formation d'acide oxalique qui se combine avec l'alcali.

Enfin les substances organiques, excepté l'acide oxalique et l'acide formique, contenant plus d'hydrogène et de carbone qu'il n'en faut pour faire passer leur oxigène à l'état d'eau et d'acide carbonique, peuvent désoxigéner beaucoup de sels; c'est en effet ce qui a lieu; aussi vient-on à chauffer un sulfate avec une matière organique, qu'il se forme un sulfure. Si les sels appartenaient à la dernière section, le métal serait même réduit.

DES SUBSTANCES ORGANIQUES AZOTÉES.

Dans cette section nous comprenons trois sortes de substances azotées, qui sont caractérisées par des propriétés bien tranchées; ainsi elles peuvent être *acides*, ou *basiques*, ou *neutres*. Il est remarquable que c'est dans cette section que viennent se classer toutes ces substances immédiates qui sont connues sous le nom d'*alcalis végétaux*, attendu que, jusqu'à présent, on n'a reconnu de propriétés alcalines bien prononcées qu'à certaines substances qui contiennent de l'azote.

Ces substances sont toujours solides ou liquides à la température ordinaire. Quelques unes sont volatiles sans décomposition;

mais elles sont en petit nombre. Les autres propriétés physiques sont aussi variables que celles des substances précédentes.

Soumises à la distillation, ces substances donnent différents produits analogues à ceux que nous avons indiqués pour les substances non azotées, seulement l'azote s'associe à une certaine quantité d'hydrogène, d'où résulte de l'ammoniaque qui forme, avec l'acide carbonique, du carbonate d'ammoniaque, que l'on rencontre toujours dans le produit de la distillation. Toutefois l'azote ne se combine pas entièrement, et il s'en dégage toujours une certaine quantité à l'état de liberté. Il se forme de plus une huile noire, épaisse et très fétide, qui donne cette odeur que l'on connaît si bien quand on brûle une matière animale. Quant au charbon qui forme le résidu de la distillation, il a cela de remarquable, qu'il est volumineux, brillant, difficile à incinérer, et qu'il contient des quantités variables d'azote.

C'est en distillant, dans des vases convenables, des matières animales azotées, que l'on prépare le carbonate d'ammoniaque dans les arts, ainsi que le charbon animal employé si souvent pour la décoloration des liquides. Remarquons seulement que pour l'obtenir on se sert plus souvent d'os d'animaux, lesquels contiennent beaucoup de gélatine, matière très riche en azote.

L'oxigène n'altère ces substances qu'autant qu'elles sont humides, et donne lieu à ce phénomène que l'on appelle *fermentation putride*, et sur lequel nous allons revenir.

Si l'on élève la température, alors l'hydrogène et le carbone de la substance se combinent avec l'oxigène et forment de l'eau et de l'acide carbonique. Quant à l'azote, il devient libre et accompagne les produits. Si l'on fait la même expérience au contact de l'air, la combustion est moins vive, et alors des produits analogues à ceux qui se forment en vase clos viennent compliquer les résultats. Le chlore, s'emparant de leur hydrogène, forme de l'acide chlorhydrique et d'autres produits non étudiés.

L'eau, l'alcool et l'éther en dissolvent quelques unes. Les oxides métalliques, faciles à désoxigéner, les décomposent entièrement à une haute température, en formant de l'eau, de l'acide carbonique et de l'azote. Si l'on chauffe au rouge une de ces matières, avec de la potasse ou de la soude, alors au nombre des produits ordinaires de la décomposition par le feu se trouve du cyanure de potassium ou de sodium qui reste avec le charbon. Si, au lieu d'opérer à une haute température, on se sert d'une dissolution concentrée de potasse ou de soude, dans laquelle on

fait bouillir la substance, il se fait un dégagement d'ammoniaque, et il se produit de l'acide acétique, de l'acide carbonique et une matière azotée particulière qui se combinent avec l'alcali.

L'acide nitrique à chaud détruit toutes les substances azotées et les produits de ces décompositions sont généralement des acides oxalhydrique, acétique, carbonique, indigotique, carbazotique, oxalique, cyanhydrique, de l'eau, de l'azote ou des oxides d'azote.

L'acide sulfurique concentré les charbonne en donnant lieu à de l'acide carbonique, de l'acide sulfureux et de l'azote.

Parmi ces substances, celles qui jouissent de propriétés alcalines, se combinent aux acides et forment des sels bien définis; telles sont la *morphine*, la *quinine*, la *strychnine*, la *brucine*, la *cinchonine*, etc. Toutes ces substances, qui se trouvent toutes formées dans les végétaux, ont une saveur amère, âcre; elles verdissent le sirop de violettes, et neutralisent fort peu d'acides par rapport à leur masse; on dit qu'elles ont une *faible capacité de saturation.*

Elles se dissolvent bien dans l'alcool et l'éther. Parmi ces substances, plusieurs sont employées très souvent, seules ou à l'état de sel; telles sont la morphine, la quinine et la strychnine, etc.

Toutes ces substances sont des médicaments énergiques qui empoisonnent à la dose même de quelques grains.

FERMENTATION PUTRIDE.

Quand une substance privée de vie est soumise à l'action de l'air humide et d'une certaine chaleur, elle finit par disparaître en donnant lieu à des gaz d'une odeur désagréable dont la nature n'est pas bien connue. C'est à ce phénomène de décomposition qu'on a donné le nom de *fermentation putride.* Ces faits nous expliquent pourquoi la viande que l'on ne dessèche pas se conserve difficilement en été, et tombe bientôt en putréfaction. Si donc, au moyen d'agents qui absorbent l'humidité, tels que l'alcool, le sel marin, le sucre, etc., on parvient à leur enlever l'excès d'humidité qu'elles contiennent, elles pourront se conserver facilement; c'est en effet ce que prouve l'expérience du poisson, de la chair, etc., que l'on conserve dans de la saumure. Si l'on place une matière que l'on a chauffée à 100° dans

un vase purgé d'air et hermétiquement fermé, on pourra également la conserver long-temps.

Le sublimé corrosif est aussi employé pour conserver les matières organiques; dans ce cas, la matière change un peu de nature et devient imputrescible.

Lorsqu'une substance est en putréfaction, on emploie avec succès le chlore, ou les hypo-chlorites pour détruire les miasmes qui se produisent. C'est le procédé employé pour désinfecter les cadavres en putréfaction.

HISTOIRE NATURELLE.

Définition générale des corps organisés animaux par comparaison avec les corps organisés végétaux et avec les corps inorganisés, en ayant successivement égard : 1° A la composition chimique ou moléculaire ; 2° A la structure anatomique ou textulaire ; 3° A la forme considérée d'une manière générale et aux limites dont elle est susceptible ; 4° A l'origine, à la formation ou naissance ; 5° Au mode d'accroissement par suite de nutrition ; 6° Au mode de destruction et de décomposition par suite de la mort.

INTRODUCTION.

L'histoire naturelle est la science qui a pour objet la connaissance de tous les êtres qui composent l'ensemble de notre globe. Son but est d'étudier ces corps en eux-mêmes, d'observer toutes les propriétés ou qualités qu'ils manifestent dans leur état naturel avant que l'art ne leur ait fait subir d'altération.

Depuis les temps les plus reculés on a divisé tous les êtres de la nature en trois grandes classes, qu'on nomme *règnes :* 1° *le règne minéral* comprenant l'histoire des êtres privés de vie : on nomme cette science *minéralogie* ; 2° *le règne végétal* qui comprend les êtres vivants dépourvus de sensibilité et de mouvement volontaire : on nomme *botanique* la science qui s'occupe des *végétaux* ; 3° *le règne animal* comprenant les êtres vivants qui sentent et se meuvent volontairement : on a donné le nom de *zoologie* à cette partie de l'histoire naturelle.

Les animaux et les végétaux présentent entre eux des rapports intimes ; les uns et les autres sont composés de parties les unes agissantes, les autres élaborées ; les unes plus ou moins solides, les autres liquides. Dans les deux règnes on remarque une tendance égale, tant que la vie dure, à résister à la putré-

faction. Il existe des points où les rapprochements sont si grands, comme dans les éponges, les oscillatoires, les conferves, qu'on ne peut affirmer si tel ou tel être appartient au règne animal ou au règne végétal. Les naturalistes, guidés par ces considérations, ont d'abord divisé tous les êtres de la nature seulement en deux grandes classes, les *êtres inorganisés* et les *êtres organisés*. Nous allons étudier les caractères essentiels qui les différencient.

Les corps organisés et les corps inorganisés diffèrent entre eux : 1° par la composition chimique ou moléculaire ; 2° par la structure anatomique ou textulaire ; 3° par la forme ; 4° par l'origine ou formation ; 5° par le mode d'accroissement ; 6° par le mode de destruction.

1° *De la composition chimique ou moléculaire.*

Les corps bruts sont essentiellement homogènes et les corps organisés hétérogènes ; c'est-à-dire que toutes les parties intégrantes des premiers prises séparément offrent des propriétés de l'ensemble, tandis que les parties des seconds sont très différentes les unes des autres, d'où résulte, comme Brongniart l'a observé, que chaque molécule intégrante d'un corps brut forme un tout, et qu'au contraire, dans le règne organisé, le tout n'est formé que par la réunion des parties hétérogènes. On trouve dans les corps organisés un certain nombre de substances qui se rencontrent également dans le règne inorganique : l'eau est dans ce cas ; mais les produits qui forment la base essentielle de toutes les parties solides des corps vivants appartiennent en propre au règne organique, et présentent des propriétés fort remarquables. Le nombre de ces substances est très considérable, et elles diffèrent beaucoup entre elles ; mais cependant elles sont formées pour la plupart des mêmes éléments réunis en proportions différentes. En général ce sont des composés de carbone, d'hydrogène et d'oxigène, ou bien de substances résultant de l'union de ces trois éléments avec un quatrième, l'azote.

2° *De la structure anatomique ou textulaire.*

Le corps brut est une masse essentiellement homogène, un simple assemblage de parties similaires qui, prises séparément,

offrent la propriété de l'ensemble. Les corps vivants sont composés de parties solides pour en assurer la forme, et de parties liquides pour y entretenir le mouvement. Leur tissu est composé de réseaux et de mailles ou de fibres et de lames solides qui renferment des liquides dans leur intervalle; c'est dans les liquides que le mouvement est le plus continuel et le plus étendu; les substances étrangères pénètrent le tissu intime des corps en s'incorporant à eux. Ce sont eux qui nourrissent les solides en y interposant leurs molécules; ce sont eux aussi qui détachent des solides les molécules superflues; c'est sous la forme liquide ou gazeuse que les matières qui doivent s'exhaler traversent les pores du corps vivant; mais ce sont à leur tour les solides qui contiennent les liquides et qui leur impriment une partie de leur mouvement par leurs contractions. Cette action mutuelle des solides et des liquides, ce passage des molécules des uns aux autres, nécessitait de grands rapports dans leur composition chimique; et effectivement, les solides des corps organisés sont en grande partie composés d'éléments susceptibles de devenir facilement liquides ou gazeux. Le mouvement des liquides, exigeant aussi une action continuellement répétée de la part des solides, et leur en faisant éprouver une, demandait que les solides eussent à la fois de la flexibilité et de la dilatabilité; et c'est en effet encore là un caractère presque général des solides organisés.

Cette structure commune à tous les corps vivants, ce tissu aréolaire dont les fibres ou les lames sont plus ou moins abondantes, est ce qu'on appelle l'organisation.

3° *De la forme considérée d'une manière générale et des limites dont elle est susceptible.*

Les corps inorganiques ont une forme nécessairement variable en raison de l'indépendance et des particules, que l'on peut considérer comme on le voudra en nombre plus ou moins considérable. Chaque corps organisé au contraire, outre les qualités communes de son tissu, a une forme propre, non seulement en général et à l'extérieur, mais jusque dans le détail et la structure de chacune de ses parties, et c'est de cette forme, que détermine la direction particulière de chacun de ses mouvements partiels qui s'exercent en lui, que dépend la complication du

mouvement général de sa vie, qui constitue son espèce et fait de lui ce qu'il est.

4° *De l'origine, de la formation ou naissance.*

L'origine des corps organisés diffère complétement de celle des corps bruts. Ces derniers ont existé depuis la création du monde, ou bien se sont formés par la combinaison d'autres corps qui ne leur ressemblent en rien. Les corps vivants au contraire proviennent toujours d'un être semblable à eux, d'un parent à qui ils tiennent et dont ils se détachent lorsque leur développement est assez avancé pour qu'ils puissent vivre par eux-mêmes.

5° *Mode d'accroissement par suite de nutrition.*

Les corps bruts se forment par la simple juxta-position extérieure de molécules semblables à eux. Dans les corps organisés au contraire chaque molécule devra être portée au point auquel elle doit s'assimiler; et comme ce transport s'opère par des organes placés à l'intérieur du corps, cette opération a reçu le nom d'intussusception. La juxta-position, dans les corps bruts peut s'opérer et s'opère réellement par un effet simple et nécessaire de l'attraction moléculaire, qui est la propriété la plus générale de la matière. Cette attraction ne suffit point à beaucoup près pour concevoir comment dans les corps organiques chaque molécule parcourt un espace souvent très considérable, et des chemins très compliqués, avant de se déposer sur tel ou tel organe. La force particulière qui opère ce phénomène et plusieurs autres a reçu le nom de force vitale.

6° *Du mode de destruction et de décomposition par suite de la mort.*

Le corps organique ne peut s'accroître que jusqu'à un certain terme après lequel il marche vers sa destruction; il finit ou par mourir de vieillesse ou d'accident, tandis qu'il n'y a point de limites à l'accroissement du corps inorganique, et une fois formé, il dure éternellement si nulle action extérieure ne tend à le détruire. Quand la vie a cessé dans les corps organisés, ils ren-

trent peu à peu dans le domaine des corps inorganisés. La série de décompositions et de produits qui forment ce passage se nomme *fermentation putride*.

Différence des végétaux et des animaux.

Les êtres vivants sont divisés en êtres animés, c'est-à-dire sensibles et mobiles (*les animaux*), et en êtres inanimés qui ne jouissent ni de l'une ni de l'autre de ces facultés, et qui sont réduits à la faculté de végéter (*les plantes*). Quelques végétaux retirent leurs feuilles lorsqu'on les touche, se dirigent vers la lumière et exécutent plusieurs mouvements; mais on ne peut découvrir dans ces mouvements les preuves de perception et de volonté.

La spontanéité dans les mouvements des animaux a exigé des modifications essentielles même dans leurs organes simplement végétatifs. Leurs racines ne pénétrant point la terre, ils devaient pouvoir placer en eux-mêmes des provisions d'aliments, et en porter le réservoir avec eux. De là dérive le premier caractère des animaux, ou leur cavité intestinale, d'où le fluide nourricier pénètre leurs autres parties par des pores ou par des vaisseaux, qui sont des espèces de racines intérieures.

L'organisation de cette cavité et de ses dépendances a dû varier selon la nature des aliments, et les opérations qu'ils ont à subir avant de fournir des sucs propres à être absorbés; tandis que l'atmosphère et la terre n'apportent aux végétaux que des sucs déjà prêts et qui peuvent être absorbés immédiatement.

Le corps animal, qui avait à remplir des fonctions plus nombreuses et plus variées que la plante, pouvant en conséquence avoir une organisation beaucoup plus compliquée, ses parties ne pouvant d'ailleurs conserver entre elles une situation fixe, il n'y avait pas moyen que le mouvement de leurs fluides fût produit par des causes extérieures, et il devait être indépendant de la chaleur et de l'atmosphère; telle est la cause du deuxième caractère des animaux, ou de leur système circulatoire, qui est moins essentiel que le digestif, parce qu'il n'était pas nécessaire dans les animaux les plus simples.

Les fonctions animales exigeaient des systèmes organiques dont les végétaux n'avaient pas besoin : celui des muscles pour le mouvement volontaire, et celui des nerfs pour la sensibilité; et ces deux systèmes n'agissant, comme tous les autres, que par

des mouvements et des transformations de liquides ou de fluides, il fallait que ceux-ci fussent plus nombreux dans les animaux, et que la composition chimique du corps animal fût plus compliquée que celle de la plante ; aussi y entre-t-il une substance de plus (l'azote), comme élément essentiel, tandis qu'elle ne se joint qu'accidentellement dans les végétaux aux trois autres éléments généraux de l'organisation, l'oxigène, l'hydrogène et le carbone. C'est là le troisième caractère des animaux.

Les rapports des végétaux et des animaux avec l'atmosphère sont inverses : les premiers décomposent l'eau et l'acide carbonique pour s'assimiler le carbone et l'hydrogène; sous l'influence de la lumière ils dégagent de l'oxigène ; les seconds au contraire absorbent de l'oxigène et dégagent de l'eau et de l'acide carbonique par la respiration qui est la fonction essentielle à la constitution du corps animal; c'est elle en quelque sorte qui l'animalise, et les animaux exercent d'autant plus complètement leurs fonctions animales, qu'ils jouissent d'une respiration plus complète. C'est dans ces différences de rapports que consiste le quatrième caractère des animaux.

NEUVIÈME PARTIE.

HISTOIRE NATURELLE.

ZOOLOGIE.

INTRODUCTION.

La *zoologie* est, comme nous l'avons dit, la science qui traite des animaux, c'est-à-dire des êtres organisés et vivants doués de la faculté de sentir, d'exécuter des mouvements volontaires, munis d'une cavité intérieure nommée estomac, destinée à recevoir et à élaborer les matières propres à les nourrir.

Pour bien connaître les animaux, il faut étudier 1° la structure, la forme et la symétrie, ou disposition relative des organes dont la combinaison produit tel ou tel animal, ce qui constitue *son anatomie;* 2° les différentes fonctions de ces organes, c'est ce qu'on nomme *physiologie.* On peut définir l'anatomie en disant que c'est la science des êtres organisés ou de l'organisation; d'après son étymologie, ce mot signifie dissection. La physiologie est la connaissance des phénomènes des corps organisés ou la science de la vie.

On nomme *anatomie comparée* la science qui nous fait connaître la subordination réelle des différents organes qui peuvent entrer en combinaison les uns avec les autres, la corrélation de ces organes ou les lois de coexistence de leurs modifications, la symétrie particulière à chaque combinaison, d'où résultent la forme extérieure et les habitudes de l'animal. Elle apprend au naturaliste à juger de tout un système d'organes par un seul d'entre eux, à conclure par exemple de la variation d'un seul os celle de tout le squelette; elle lui fournit les moyens de résoudre ces deux problèmes, qui sont la base de la zoologie : Telle combinaison d'organes étant donnée, quelle est la forme ou l'espèce d'animal qui en résulte? *Et vice versâ,* tel animal étant connu dans sa forme et ses caractères extérieurs, quelle est in-

férieurement la combinaison d'organes qui le constitue? Nous diviserons ce que nous avons à dire sur les animaux en deux sections. La première comprendra des notions générales sur l'anatomie et la physiologie; la deuxième, la zoologie descriptive.

PREMIÈRE SECTION.

NOTIONS GÉNÉRALES D'ANATOMIE ET DE PHYSIOLOGIE.

Quels sont les éléments anatomiques qui entrent dans la composition des animaux, et qu'entend-on par SOLIDES, LIQUIDES et PRODUITS? *Qu'est-ce qu'une fibre, un tissu? Combien distingue-t-on de tissus dans les animaux, et dans quel ordre doivent-ils être classés? Qu'est-ce qu'un* PARENCHYME? *qu'est-ce qu'un* ORGANE?

Le corps de tous les animaux est composé de solides qui en déterminent la forme, et de liquides qui y entretiennent la vie. La quantité de liquides contenus dans un animal est bien plus considérable qu'on ne serait porté à le croire au premier abord. Ainsi le corps d'un homme contient environ les neuf dixièmes de son poids de liquides.

Nature des liquides. — Dans les animaux dont la structure est plus uniforme, tous les liquides de l'économie sont semblables entre eux; ils ne paraissent être que de l'eau plus ou moins chargée de particules organiques. Mais dans les êtres qui occupent un rang plus élevé dans l'échelle zoologique, les liquides sont de nature très différente. Il en est un que nous allons étudier à cause de son importance; c'est le *sang* liquide destiné aux besoins de la nutrition.

Chez la plupart des animaux inférieurs, le sang ne consiste qu'en un liquide aqueux, tantôt incolore, tantôt légèrement coloré en rose ou en lilas, *ex.* les insectes, les araignées, les écrevisses, les vers intestinaux, etc.

Le sang est rouge chez tous les animaux qui se rapprochent plus de l'homme par leur structure, *ex.* tous les animaux verté-

brés. On trouve encore le sang rouge dans les vers de la classe des annélides.

Composition anatomique du sang. — En examinant le sang au microscope, on voit qu'il est composé d'un liquide jaunâtre et transparent qu'on a nommé *sérum*, et d'une foule de petits corpuscules solides, réguliers et d'une belle couleur rouge, qui nagent dans le fluide dont nous venons de parler, et que l'on appelle les globules du sang.

Dans l'homme et chez tous les autres animaux de la classe des mammifères (le chien, le bœuf, par exemple), les globules du sang sont circulaires, tandis que chez les oiseaux, les reptiles et les poissons, ils ont constamment une forme elliptique. Ces corpuscules sont d'une petitesse extrême. Dans l'homme, le chien et quelques autres mammifères, leur diamètre n'est égal qu'à environ la cent cinquantième partie d'un millimètre; dans le mouton, le cheval, et le bœuf, ils n'ont que douze centièmes de millimètre.

Lorsqu'on examine ces globules au microscope, on voit qu'ils se composent de deux parties, et qu'ils consistent en une espèce de vessie ou de sac membraneux au milieu duquel se trouve un corpuscule sphéroïdal.

Le sang contient la plupart des autres substances qui entrent dans la composition des divers organes du corps qu'il est destiné à nourrir. On y trouve chez l'homme, sur 100 parties de sang, 78 d'eau, 6 à 7 d'albumine; c'est elle qui forme presque à elle seule le blanc de l'œuf; elle peut se dissoudre dans l'eau, mais par l'action de la chaleur elle se solidifie et devient insoluble; 14 à 15 de fibrine, qui forme la base de la chair musculaire. Le sang contient en outre des matières grasses, de la soude, des sels, de l'oxide de fer, etc. On peut admettre enfin que le sang contient tous les autres principes qui se trouvent dans les diverses humeurs, et que les organes qui sont chargés de leur sécrétion agissent seulement en les séparant du sang.

Les autres humeurs sont le chyme, le chyle, la lymphe, la synovie, la mucosité, etc.

Des tissus organiques ou formes propres aux éléments organiques du corps animal.

Tous les corps vivants ont un tissu aréolaire composé de diverses formes de mailles. On appelle *tissu* toute partie distincte

par sa texture. Le *tissu* ne diffère de la *fibre* qu'en ce que celle-ci est plus fine et en est la partie composante. Un tissu peut être formé par des fibres semblables ou différentes; un *organe* résulte ordinairement de la réunion de plusieurs tissus. Il y a trois sortes de formes de tissus ou de matériaux organiques : 1° le *tissu cellulaire* ou la *cellulosité*, le *tissu musculaire* ou la *fibre musculaire*, le *tissu nerveux* ou la *matière médullaire*. Tous ces tissus paraissent formés en dernière analyse de petits globules seulement visibles à l'aide du microscope, et réunis en chapelet dont la disposition varie.

Le *tissu cellulaire* se compose d'une infinité de petites lames jetées au hasard et interceptant de petites cellules qui communiquent toutes ensemble. C'est une espèce d'éponge qui a la même forme que le corps entier, et toutes les autres parties la remplissent ou la traversent. Sa propriété est de se contracter indéfiniment quand les causes qui la tiennent étendue viennent à cesser; cette force est ce qui retient le corps dans une forme et dans des limites déterminées.

La cellulosité serrée forme ces lames plus ou moins étendues que l'on appelle *membranes*; les membranes contournées en cylindres forment ces tuyaux plus ou moins ramifiés que l'on nomme *vaisseaux*; les *filaments* nommés *fibres* se résolvent en cellulosité durcie par l'accumulation de substances terreuses.

La matière générale de la cellulosité est cette combinaison qui porte le nom de *gélatine*, et dont le caractère consiste à se dissoudre dans l'eau bouillante et à se prendre par le refroidissement en une gelée tremblante.

Le *tissu musculaire*, ou fibre charnue, est une sorte particulière de filaments dont la propriété distinctive, dans l'état de vie, est de se contracter en se plissant quand ils sont touchés ou frappés par quelque corps, ou quand ils éprouvent, par l'intermédiaire du nerf, l'action de la volonté.

Les muscles, organes immédiats du mouvement volontaire, ne sont que des faisceaux de fibres charnues. Toutes les membranes, tous les vaisseaux qui ont besoin d'exercer une compression quelconque, sont armés de ces fibres. Elles sont toujours intimement unies à des filets nerveux ; mais celles qui concourent aux fonctions purement végétatives se contractent à l'insu du moi, de sorte que la volonté est bien un moyen de faire agir les fibres, mais ce moyen n'est ni général, ni unique.

La fibre charnue a pour base une substance particulière ap-

pelée *fibrine*, qui est indissoluble dans l'eau bouillante, et dont la nature semble être de prendre d'elle-même cette forme filamenteuse.

Le *tissu nerveux* ou *matière médullaire* n'a pu être encore réduite en ses molécules organiques. Elle paraît à l'œil comme une sorte de bouillie molle où l'on ne distingue que des globules infiniment petits; elle n'est point susceptible de mouvements apparents, mais c'est en elle que réside le pouvoir admirable de transmettre au moi les impressions des sens extérieurs, et de porter aux muscles les ordres de la volonté. Le cerveau, la moelle épinière, en sont composés en grande partie, et les nerfs, qui se distribuent à tous les organes sensibles, ne sont, quant à leur essence, que des faisceaux de ses ramifications.

Des tissus fibreux, muqueux, osseux, etc. — Les autres tissus organiques qui concourent à former les diverses parties du corps, sont les membranes séreuses et muqueuses, les tendons, les aponévroses ou les diverses variétés de tissus fibreux, les os. Mais il paraît évident que tous ces tissus ne sont que des modifications de tissu cellulaire.

Les *organes* sont les parties solides ou contenantes du corps; ce sont eux surtout qui déterminent la forme et qui impriment le mouvement; ce sont les instruments par lesquels la vie se manifeste dans le corps animal.

Qu'est-ce qu'un appareil? Quels sont les principaux appareils qui constituent la machine animale, et quelles sont les fonctions qu'ils exécutent?

Les *appareils* sont des ensembles d'organes quelquefois très distincts par leur conformation, leur situation, leur structure et même leur action particulière, mais qui concourent à un but commun, lequel est une des fonctions de la vie. C'est à tort que l'on a confondu cette réunion de parties avec celle qui constitue un système ou un genre d'organes. La classification des appareils repose entièrement sur la considération des fonctions, tandis que celle des systèmes ou genres repose sur la ressemblance des parties entre elles. Voici comment les organes sont réunis en appareils de fonctions.

Les os et leurs dépendances, savoir : le périoste, la moelle, la plupart des cartilages, les ligaments, les capsules synoviales, constituent un premier appareil d'organes qui déterminent la

forme du corps, qui servent de soutien à toutes les parties et notamment d'enveloppe aux centres nerveux, et qui, par la mobilité des articulations, reçoivent et communiquent les mouvements déterminés par les muscles.

Les muscles, les tendons, les aponévroses, les bourses synoviales, forment l'appareil des mouvements.

Les cartilages et les muscles du larynx, et diverses autres parties, forment celui de la phonation ou de la voix.

La peau, les autres sens et les muscles qui les meuvent, etc., forment l'appareil des sensations. Les centres nerveux et les nerfs forment celui de l'innervation. Le canal alimentaire, depuis la bouche jusqu'à l'anus et toutes ses nombreuses dépendances, constituent celui de la digestion.

Le cœur et les vaisseaux, celui de la circulation.

Les poumons, celui de la respiration. Les glandes, les follicules et les surfaces respiratoires, forment l'appareil des sécrétions; mais la plupart de ces organes servant à d'autres fonctions, sont compris dans leurs appareils. Il ne reste guère que la sécrétion urinaire, dont les organes forment à eux seuls un appareil.

Les organes génitaux constituent un appareil différent dans chaque sexe. Enfin l'œuf, et le fœtus qu'il renferme, forment un dernier groupe ou appareil d'organes.

Qu'entend-on par fonctions et appareils de la vie animale et de la vie organique? Donner un exemple en définissant comparativement ce que c'est que l'absorption, l'exhalation, la sécrétion, la sensation, la locomotion.

Les fonctions des animaux se rapportent à deux objets, la conservation de l'individu et la conservation de sa race. Mais parmi les premières, il est une distinction importante à établir; les unes servent à assurer l'entretien et l'accroissement du corps, les autres à mettre l'animal en relation avec les êtres qui l'environnent. Quant aux fonctions de reproduction, elles ont pour résultat la formation d'êtres nouveaux semblables à ceux dont ils proviennent.

Il en résulte que les fonctions ou actes de ces êtres peuvent se diviser en trois grandes classes, savoir : les *fonctions de nutrition*, les *fonctions de relation*, et les *fonctions de génération*. Les fonctions de nutrition et de génération, ainsi que nous l'a-

vons déjà vu, sont communes aux plantes et aux animaux. Aussi leur donne-t-on le nom collectif de fonctions de la *vie végétative;* mais les fonctions de relation n'existent que chez ces derniers, et constituent ce que les physiologistes appellent fonctions de la *vie animale.*

Pour mieux faire comprendre ces distinctions, nous allons définir successivement l'absorption, l'exhalation et la sécrétion parmi les fonctions de la vie organique, et la sensibilité et la locomotion parmi les fonctions de la vie animale.

L'*absorption* est l'acte par lequel les êtres vivants absorbent et font pénétrer dans la masse de leurs liquides les substances qui les environnent ou qui sont déposées dans la profondeur de leurs organes.

L'*exhalation* et les *sécrétions* sont les actes contraires de l'absorption; ce sont les moyens par lesquels des substances contenues dans la masse générale des liquides et renfermées avec eux dans les vaisseaux, peuvent en sortir, soit pour pénétrer dans les cavités intérieures, soit pour sortir au dehors. Si c'est seulement une partie aqueuse du liquide contenu dans ces vaisseaux qui en sort, n'entraînant qu'une petite quantité de matière soluble déjà contenue dans ce liquide, on donne à ce phénomène le nom d'*exhalation.* S'il se sépare du liquide intérieur (sang dans les animaux) des produits nouveaux qui diffèrent de ce liquide par leur acidité ou par leur grande alcalinité, et qui renferment souvent en abondance des substances dont on ne trouve plus que des traces dans le sang, ce travail, en quelque sorte chimique, constitue ce que les physiologistes nomment *sécrétion.*

La *sensibilité* est la plus remarquable des propriétés inhérentes aux êtres animés; c'est la faculté de recevoir des impressions des objets extérieurs, et d'en avoir la conscience. Quand l'animal a reçu une sensation, et qu'elle détermine en lui une volition, c'est par les nerfs que cette volition est transmise aux muscles, dont les contractions produisent le mouvement de l'animal, ou la *locomotion.*

La *locomotilité* est la faculté qu'ont les animaux de déplacer volontairement, en tout ou en partie, leur propre corps pour chercher le bien-être ou pour fuir le danger.

Donner l'analyse de quelques uns des appareils et de leurs fonctions, comme celui de l'audition et de la vision, dans le système sensorial ; de la production de la voix, de la marche, du vol, de la natation, dans le système locomoteur; de la digestion, de la respiration, de la circulation, dans le grand appareil de la nutrition, etc.

Nous avons précédemment énuméré (pag. 517) les principaux appareils qui constituent la machine animale. Pour nous conformer aux intentions du programme de l'Université, nous allons maintenant donner l'analyse de quelques uns des appareils et de leurs fonctions.

DES FONCTIONS DE NUTRITION.

L'agent principal de la nutrition c'est le sang. On connaît comment il se distribue aux différentes parties du corps ; on sait comment il transporte dans tous les organes les matières différentes qui doivent servir à leur nutrition ; on a trouvé encore qu'en traversant les organes, le sang se dépouille d'une portion de ses parties constituantes, donne naissance à de nouveaux liquides, et change lui-même de nature au point de n'être plus propre à remplir ses fonctions, jusqu'à ce qu'il ait été en quelque sorte régénéré par l'action de l'air ; il s'épuise en nourrissant les organes, et il se renouvelle lui-même aux dépens de matières étrangères convenablement préparées dans les organes spécialement destinés à cet usage. Ces divers phénomènes dépendant du grand appareil de la nutrition, constituent les fonctions de la circulation, de l'absorption, de l'exhalation, des sécrétions, de la respiration et de la digestion. Nous allons seulement traiter dans ce précis la circulation, la respiration et la digestion.

DE LA CIRCULATION.

Chez les animaux dont la structure est la plus simple, le liquide nourricier est répandu uniformément dans toutes les parties du corps ; mais lorsqu'on examine les individus moins éloignés de l'homme, on voit que chez eux le sang se meut dans une direction constante, et qu'il existe un organe particulier destiné à lui donner ce mouvement, auquel on a donné le nom de *cœur*.

C'est une espèce de poche contractile qui reçoit le sang dans son intérieur, et qui en se resserrant le pousse dans une direction déterminée; les canaux dans lesquels il circule se nomment vaisseaux sanguins, qui avec le cœur constituent l'*appareil de la circulation.*

On donne le nom d'*artères* aux canaux centrifuges qui portent le sang du cœur dans toutes les parties du corps, et celui de *veines* aux canaux centripètes qui rapportent ce liquide de ces organes vers le cœur. Les artères ayant à distribuer dans toutes les parties du corps le sang qui sort du cœur, doivent se subdiviser, se ramifier de plus en plus, à mesure qu'elles s'éloignent de cet organe. Les veines, au contraire, doivent présenter une disposition inverse; elles doivent être d'abord très nombreuses, et se réunir peu à peu entre elles, de façon à se terminer au cœur par un ou deux gros troncs. On donne le nom de *vaisseaux capillaires* aux canaux étroits qui lient entre eux les artères et les veines. Il résulte de ces faits que l'appareil vasculaire forme un cercle complet dans lequel le sang se meut pour revenir sans cesse à son point de départ; c'est en raison de la nature de ce mouvement qu'on l'appelle circulation. Dans les animaux où la respiration se fait dans un organe spécial tel que le poumon, les vaisseaux sanguins se ramifient, non seulement dans les tissus qu'ils doivent nourrir, mais aussi dans l'organe où le sang doit subir l'action de l'air, et ce liquide traverse deux ordres de vaisseaux capillaires, l'un servant à la nutrition, l'autre à la respiration; la circulation qui se fait dans l'appareil respiratoire est appelée la *petite circulation*, et celle qui se fait dans le reste du corps la *grande circulation.*

Nous allons maintenant exposer, d'après M. Milne Edwards, les différences que les animaux présentent sous le point de vue de la circulation.

Dans les crabes et les écrevisses le cœur ne consiste qu'en une seule poche contractile, qui envoie le sang dans toutes les parties du corps, d'où ce liquide passe dans le système veineux pour revenir au cœur, en traversant l'organe de la respiration. Dans les limaces, les huîtres, etc., le sang suit la même route, mais il y a division du travail quant aux fonctions du cœur; cet organe présente une structure plus compliquée, et se compose d'une cavité appelée *ventricule*, qui sert à mettre le sang en mouvement, et d'une ou de deux poches nommées *oreillettes*, qui reçoivent ce liquide des veines et qui servent de réservoir pour alimenter le ventricule.

e t. i e
g
e
e

C d b h a

… portion du Cœur occupée par le ventricule gauche — b
…tricule droit — c oreillette droite — d veines Cave inférieure. —
… veines sous-clavières et jugulaires qui vont se terminer
…ns la veine Cave supérieure. — f, g artères carotides
… sous clavière naissant de la crosse de l'aorte — h artère
…scendante — t. trachée artère — poumons.

Section du Cœur pour montrer les cavités qu'il renferme.
a, ventricule gauche. — b, ventricule droit — c cloison
charnue qui sépare ces deux cavités — d, oreillette droite. —
e, oreillette gauche. f,g, valvules séparant les oreillettes des
ventricules — h artère aorte — h' la même après son
passage derrière le Cœur — i, veine cave — k,k artères
pulmonaires — l,l, veines pulmonaires. —

k k k
l l
d e
g f
i
b a
c h'

Section du Cœur pour montrer la disposition des valvules qui séparent les oreillettes des ventricules.

a, oreillettes ouverte et étendue — b Cavité du ventricule dont les parois sont garnies d'un grand nombre de Colonnes charnues disposés irrégulièrement de façons à former des espèces de cellules — C, valvule dont le bord externe est fixé aux pourtours de l'ouverture auriculo-ventriculaire et dont le bord libre donne attache à un grand nombre de petits tendons (d) provenant de Colonnes charnues fixées aux parois du ventricule par leur extrémité inférieure

2e figure

3ème figure

Tronçons d'une grosse veine ouverte pour montrer les valvules formés par les replis de sa membrane interne.

a, portion supérieure de la veine. — b, valvules dont la concavité est dirigée vers le Cœur — C, ramuscules veineux s'anastomosant entre elles et se réunissant pour former une grosse branche (d) laquelle s'ouvre dans le tronc principal en e.

Dans les poissons, la structure de l'appareil circulatoire est à peu près la même; seulement le cœur, au lieu d'être placé sur le trajet du sang artériel, appartient à la portion du cercle circulatoire parcouru par le sang veineux pour se rendre, des diverses parties du corps, à l'organe de la respiration. C'est ce que l'on exprime en disant que ces animaux ont un *cœur pulmonaire*, tandis que dans ceux dont nous avons parlé plus haut, le cœur est *aortique* ou appartenant à la grande artère du corps que l'on appelle *aorte*.

Dans tous ces animaux, la masse entière du sang veineux traverse l'organe de la respiration, et se transforme en sang artériel avant que de retourner vers les différentes parties du corps; les vaisseaux de la grande circulation donnent en entier dans ceux de la petite, et la circulation est double; mais dans les grenouilles, les serpents et les autres reptiles, elle est plus simple; la petite circulation n'est qu'une fraction de la grande, et le sang veineux ne se change pas tout entier en sang artériel, mais se mêle en partie au sang qui revient de l'appareil respiratoire, et retourne ainsi vers les organes.

Enfin, dans l'homme et tous les autres animaux désignés par les naturalistes sous le nom de *mammifères*, de même que dans les oiseaux, l'appareil circulatoire se complique encore davantage. Le cœur présente deux ventricules ainsi que deux oreillettes, et se divise en deux parties distinctes; la portion située du côté gauche, composée d'une oreillette et d'un ventricule, correspond au cœur aortique des limaçons et des écrevisses, et sert à envoyer le sang artériel dans toutes les parties du corps, tandis que la moitié droite du cœur, qui, du reste, est composée de la même manière, envoie le sang aux poumons, et remplit, par conséquent, les mêmes usages que le cœur pulmonaire des poissons.

En effet, le sang qui arrive des différentes parties du corps par le système veineux, pénètre d'abord dans l'oreillette droite; il passe ensuite dans le ventricule du même côté et se rend de là aux poumons par l'artère pulmonaire; après avoir traversé l'organe respiratoire, il revient au cœur par les veines pulmonaires qui s'ouvrent dans l'oreillette gauche; enfin de l'oreillette gauche le sang descend dans le ventricule gauche, et cette dernière cavité l'envoie dans les artères destinées à le porter dans toutes les parties du corps d'où il revient, comme nous l'avons déjà dit, dans l'oreillette droite du cœur.

On voit donc que chez ces animaux le sang, en parcourant le cercle circulatoire, traverse deux fois le cœur : à l'état de sang veineux dans le côté droit, et à l'état de sang artériel dans le côté gauche de cet organe; néanmoins la circulation est complète, car les cavités pulmonaires et les cavités aortiques du cœur ne s'ouvrent pas l'une dans l'autre, et le sang veineux traverse tout entier l'appareil respiratoire pour se transformer en sang artériel.

Mécanisme de la circulation. — Les cavités du cœur s'agrandissent et se resserrent alternativement et poussent le sang dans les canaux avec lesquels elles sont en communication; les deux ventricules se contractent en même temps, et, pendant que leurs parois se relâchent, les oreillettes se contractent à leur tour. Les mouvements de contraction se nomment *systole*. On appelle *diastole* le mouvement contraire. On nomme *pouls* le mouvement occasionné par la pression du sang sur les parois des artères.

Chaque fois que le cœur se contracte, les parois des artères ont également une influence très sensible sur le mouvement du sang. Le sang ne circule point avec la même vitesse dans toutes les parties du corps; la distance qui le sépare du cœur, la courbure et la division des artères agissent en retardant ce mouvement. Le sang coule dans les veines avec beaucoup moins de rapidité que dans les artères. Ce sont encore les contractions du ventricule gauche du cœur et le resserrement des parois artérielles qui contribuent le plus au cours du sang dans les veines; il est aussi d'autres circonstances qui contribuent à en accélérer la marche, parmi lesquelles on peut citer la dilatation de la poitrine produite par les mouvements respiratoires; mais la cause principale dépend d'une disposition particulière des veines.

Voici comment s'opère le mouvement du sang dans le cœur : L'oreillette gauche qui reçoit le sang venant des poumons communique avec les veines pulmonaires d'une part et avec le ventricule gauche de l'autre; lorsqu'elle se contracte, elle expulse de sa cavité la majeure partie du sang qui s'y trouvait, et il est évident que ce liquide doit tendre à s'échapper par ces deux voies; c'est en effet ce qui a lieu; mais comme le ventricule se dilate en même temps, c'est dans son intérieur que la majeure partie du sang pénètre, et très peu retourne dans les veines pulmonaires.

Bientôt après, le ventricule se contracte à son tour, et chasse

le sang qu'il vient de recevoir; or, il existe autour des bords de l'ouverture qui fait communiquer le ventricule avec l'oreillette placée au-dessus, un grand repli membraneux, disposé de manière à s'affaisser lorsqu'il est poussé de haut en bas, et à se relever et à fermer l'ouverture lorsqu'il est poussé en sens contraire; il en résulte que, pendant la contraction du ventricule, le sang ne peut retourner dans l'oreillette, et qu'il est poussé dans l'artère aorte.

Le passage du sang à travers les cavités du côté droit du cœur s'opère par un mécanisme analogue.

DE LA RESPIRATION.

La respiration est la fonction par laquelle le fluide nourricier d'un animal est mis en contact avec l'air qui le revivifie. La respiration consiste: 1° dans l'absorption de l'oxigène de l'air, dans sa combinaison avec une portion du carbone et de l'hydrogène du fluide nourricier et en production d'acide carbonique et d'eau; 2° dans l'absorption et l'exhalation simultanée d'une petite quantité d'azote.

Appareil de la respiration. — Dans les animaux dont l'organisation est la plus simple il n'y a point d'organe spécial pour la respiration : elle s'effectue dans toutes les parties qui sont en contact avec l'élément dans lequel ces êtres puisent l'oxigène ; la peau est également chez l'homme le siége d'une respiration plus ou moins active.

La structure des organes respiratoires varie dans les animaux, suivant qu'ils sont destinés à vivre dans l'air ou dans l'eau. Chez les animaux qui respirent dans l'eau, on les nomme *branchies*; chez les animaux à respiration aérienne, l'organe respiratoire prend les noms de *trachées* et de *poumons*.

Les *branchies* ne consistent dans plusieurs animaux que dans quelques tubercules qui ont une texture plus molle que le reste de la peau, qui prend part alors dans son entier à l'acte de la respiration. Cette structure se rencontre dans plusieurs vers marins; mais lorsque les branchies doivent être le siége d'une respiration active, ils prennent, comme dans les crabes, les écrevisses, la forme de filaments membraneux, ou comme dans les poissons, la forme de lamelles minces, plus ou moins nombreuses.

Les branchies sont uniquement destinées aux animaux qui vi-

vent dans l'eau, elles servent à absorber l'oxigène de l'air qui est toujours en dissolution dans ce liquide.

Les *trachées* sont des vaisseaux qui communiquent avec l'extérieur par des ouvertures nommées *stigmates*, et se ramifient dans la profondeur des divers organes. Ils y portent ainsi l'air, et c'est par conséquent dans toutes les parties du corps que s'effectue la respiration. Ce mode de structure est particulier aux insectes et à quelques arachnides.

Les *poumons* sont des poches plus ou moins subdivisées en cellules qui reçoivent également l'air dans leur intérieur, et dont les parois sont traversées par les vaisseaux contenant le sang qui doit être soumis à l'influence vivifiante de l'oxigène. L'air pénètre dans les poumons par un canal unique, qui s'ouvre dans le gosier à la racine de la langue. Ce canal, à son commencement, forme le larynx, et se continue par la trachée-artère, tube membraneux soutenu de distance en distance par des anneaux solides non fermés. Il descend le long du cou, au-devant de l'œsophage, et, pénétrant dans la poitrine, se divise en deux branches qu'on nomme *bronches*, et qui se rendent aux deux poumons, en se ramifiant de plus en plus.

Les poumons sont des organes spongieux contenus dans la cavité thoracique, et formés par la réunion d'un grand nombre de cellules qui communiquent toutes les unes avec les autres. C'est dans ces cellules que pénètre l'air extérieur; il y arrive et en sort alternativement par les mouvements contraires de l'inspiration et de l'expiration. Le sang de son côté arrive dans l'épaisseur des parois de ces cellules, il en sort par des vaisseaux capillaires (artères et veines pulmonaires). Le sang qui arrive est du sang noir ou veineux, mêlé de chyle, qui vient du cœur par les subdivisions de l'artère pulmonaire. Il se produit au contact de l'air une absorption et une exhalation qui le changent instantanément en sang artériel ou rouge; ce sang rouge retourne au cœur par les troncs appelés veines pulmonaires.

Dans l'acte de la respiration, le sang absorbe de l'oxigène et exhale avec de la vapeur d'eau du gaz carbonique. Ces produits exhalés viciant l'air des poumons, il faut que celui-ci soit renouvelé sans cesse par les mouvements alternatifs de l'expiration. Dans l'inspiration, la cavité de la poitrine s'agrandit, et, par suite, les poumons se dilatent, parce que leur surface, étant appliquée exactement contre les parois de la poitrine, est forcée d'en suivre tous les mouvements. Alors l'air, pressé par le poids

trachée artère et poumons l'un de ces organes (d.) est resté intact, mais de l'autre côté on en a détruit la substance pour mettre à nu les ramifications des bronches (e.)

a, larynx et extrémité supérieure de la trachée artère — b, trachée — c, divisions des bronches — e, ramuscules bronchiques, — d, l'un des poumons.

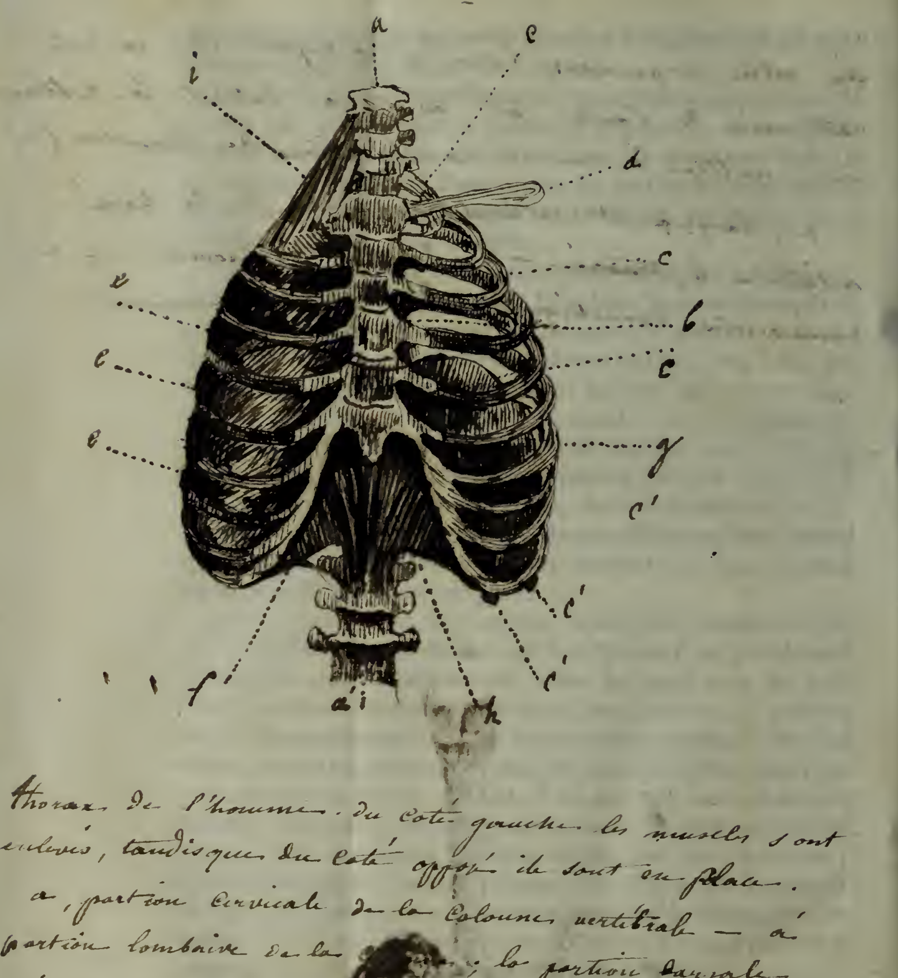
a

b

c

d

e



Thorax de l'homme. du côté gauche les muscles sont
enlevés, tandisque du côté opposé ils sont en place.
a, portion cervicale de la colonne vertébrale — a'
portion lombaire de la [illegible]; b portion dorsale
qui concourt à la form[illegible] du thorax et cachée par
le sternum — b, le [illegible] — c c côtes, c' fausses côtes
d, clavicule — e. [illegible] intercostaux. — f. dernière fausse
côte cachée par l'[illegible] muscle diaphragme — g. voute
formée dans l'intér[illegible]u thorax par le diaphragme
du côté droit la continuation de cette voute est
indiquée par une ligne ponctuée — h piliers du
diaphragme s'insérant aux vertèbres lombaires. —
i. muscles élévateurs des côtes.

de l'atmosphère, s'introduit par la bouche ou les fosses nasales dans la trachée-artère, et va gonfler les cellules pulmonaires. Cet agrandissement de la poitrine est produit par l'élévation des côtes et par la contraction du diaphragme. Ce muscle, qui sépare la poitrine de l'abdomen, a, dans l'état de repos, la forme d'une voûte; en se contractant, il aplatit sa convexité, et refoulant en bas les viscères abdominaux, augmente la capacité de la poitrine aux dépens de celle du bas-ventre.

L'expiration est produite en partie par l'élasticité des poumons qui tendent à revenir sur eux-mêmes, dès que l'acte d'inspiration a cessé, en partie par la diminution de la cavité de la poitrine opérée par les muscles du bas-ventre, qui, par leurs contractions, refoulent vers le haut les viscères abdominaux avec le diaphragme.

DE LA DIGESTION.

La *digestion* est une fonction qui a pour but de décomposer les aliments en deux portions, l'une propre à être absorbée, l'autre destinée à être rejetée au dehors. Cette fonction s'opère dans le *canal intestinal* qui, dans la plupart des animaux, est pourvu de deux orifices, la bouche et l'anus.

La digestion comprend un assez grand nombre de fonctions particulières, qui se succèdent dans l'ordre suivant : les aliments sont saisis, soit avec la main pour être ensuite portés à la bouche, soit immédiatement avec les lèvres (*préhension digitale* ou *buccale*); ils sont humectés par la salive (*insalivation*), divisés par les mâchoires et par les dents (*mastication*); avalés par les mouvements de la langue, de l'arrière-bouche et du gosier (*déglutition*); ils séjournent dans l'estomac, où ils sont pénétrés par un suc particulier, qui les réduit en une sorte de pâte appelée chyme (*chymification*); ils passent ensuite dans le duodénum, où s'opère, par le moyen de la bile et du suc pancréatique, la décomposition de cette pâte en *chyle* et en *fèces* (*chylification*); enfin, ils sont promenés successivement dans toute la longueur des intestins proprement dits, où le chyle est absorbé peu à peu, et le résidu rejeté comme excrément (*absorption du chyle et défécation*).

On nomme *bouche* l'orifice antérieur du canal digestif; on y trouve trois appareils, celui de l'insalivation, de la mastication et de la déglutition. La mastication s'opère au moyen des deux mâchoires qui sont mues par des muscles élévateurs et abaisseurs. Les dents sont des corps durs sécrétés par des capsules ou des

bulbes, à la manière des poils et des cornes, et appartiennent à la peau, et non aux mâchoires, quoique leurs racines finissent par s'y trouver en quelque sorte implantées. Une dent se divise, quant à sa forme, en deux parties : la *couronne* qui est hors de la gencive, et la *racine* qui est plus ou moins cachée au-dessous ou enfoncée dans une cavité arrondie des os maxillaires, appelée *alvéole*.

Les dents considérées dans leur partie visible, ou les couronnes, peuvent être rapportées à trois formes principales : les *incisives*, les *canines* et les *molaires ;* on donne le nom d'*incisives* à celles qui sont implantées dans l'os intermaxillaire de la mâchoire supérieure, et à celles qui leur répondent dans la mâchoire inférieure ; elles ont en général une forme tranchante, c'est-à-dire que leur sommet est taillé en biseau. On nomme *canines* ou lanières, celles qui viennent immédiatement après, sans laisser de vide entre elles et les incisives, et qui sont au nombre de quatre, une de chaque côté à chaque mâchoire. Elles ont en général une forme conique ou pointue, qui les rend propres à déchirer ; elles sont ordinairement plus longues que les autres, et correspondent aux crochets du chien. On nomme *molaires* toutes les dents du fond de la bouche, qui, le plus souvent, ne servent qu'à broyer : on les distingue quelquefois en petites ou fausses molaires, et en grosses molaires ou mâchelières.

L'appareil de l'insalivation consiste dans des cryptes et des glandes, qui, placées autour de la bouche, y versent de la salive et d'autres liquides. L'appareil de la déglutition se compose essentiellement de la langue et du palais, cette fonction a pour but le transport du bol alimentaire dans l'estomac. A la suite de la cavité buccale, vient le canal intestinal proprement dit, qui commence par le *pharynx*, sorte de cavité en forme de sac, qui n'est qu'une dilatation membrano-musculeuse de la partie antérieure du canal ; l'*œsophage*, continuation du *pharynx*, est un canal musculo-membraneux à peu près cylindrique, qui traverse la poitrine, appliqué contre le corps de la colonne vertébrale, et après avoir pénétré dans l'abdomen, se dilate plus ou moins pour former l'*estomac*. C'est par les contractions successives des muscles du pharynx et des fibres de l'œsophage que les aliments sont conduits de la bouche dans l'estomac. Ce viscère est une sorte de sac placé en travers au-dessous du diaphragme et vers la gauche. Il offre d'un côté une grande convexité, et à l'opposite une petite concavité ; son orifice d'entrée ou celui de l'œsophage

nal digestif — a œsophage — b l'estomac, c le pylore
continuant avec le duodenum, ou première portion de
intestin grêle — d, d intestin grêle — e Cœcum ou sépar-
tion du gros intestin dans laquelle se termine l'intestin
grêle — f appendice vermiforme du cœcum — g Colon ascendant —
h colon transverse — i Colon descendant — j rectum — k anus —
foie — m vésicule du fiel — n pancréas une grande
partie de cette glande est cachée derrière l'estomac —
rate.

figure 1re — (section verticale de la bouche et du pharynx
vus de profil) — a, le nez — b la lèvre supérieure placée
au devant de la voûte du palais, qui se porte horizontal-
ement en arrière, et sépare la cavité de la bouche
des fosses nasales — c la langue dont la base se fixe à
l'os hyoïde (d) — e le larynx suspendu à l'os hyoïde

et s'ouvrant dans l'arrière-bouche — f portion de la trachée artère, tube qui se continue avec le larynx d'une part et se rend de l'autre dans les poumons — g portion de la base du crâne à laquelle est suspendu le phar[ynx] ou arrière-bouche (h) — i. Commencement de l'œsophag[e] k section du voile du palais; au dessus de cette cloison on aperçoit l'ouverture postérieure des fosses nasales; et au dessous deux espèces de piliers entre lesquels se trouvent les amygdales — l glande sublinguale, communiquant avec la bouche par un petit conduit excréteur — m, glande maxillaire — n corps thyroïde, glande imparfaite placée au devant de la partie inférieure du larynx.

fig. 2 Pharynx vu par derrière et ouvert pour montrer la position relative des ouvertures des fosses nasales, du palais, du fond de la bouche et de l'ouverture du larynx. a, b Crâne — c Cloison verticale des fosses nasales qui se terminent à la partie supérieure de l'arrière bouche — d voile du palais fixé de la voûte du palais au bord la luette et de des deux côtés la cavité buccale — e base de la langue — f extrémité de l'os hyoïde — g ouverture du larynx

fig. 1

fig. 2

ou glotte conduisant aux poumons par la trachée artère — h portion de la trachée — i œsophage — k l'un des muscles élévateurs du pharynx

se nomme *cardia ;* l'orifice de sortie, du côté des intestins, est le *pylore.* On remarque quelques rides dans son intérieur, et vers le pylore une valvule qui sert à rétrécir cet orifice et à retenir les aliments. C'est dans cet organe que s'exécute la première digestion, qui consiste dans la conversion en *chyme* des substances alimentaires. On nomme ainsi une sorte de bouillie homogène et grisâtre, dans laquelle elles se réduisent, après avoir été pénétrées par les sucs gastriques.

La seconde digestion ou la conversion en chyle (sorte de liqueur émulsive), se fait dans une autre partie du canal intestinal, appelée *duodénum*, au moyen de deux fluides d'une nature particulière, la bile et le suc pancréatique, sécrétés par deux glandes considérables, appelées le *foie* et le *pancréas*. Le duodénum est la première partie des intestins proprement dits : on lui donne ce nom, parce que sa longueur est estimée à douze travers de doigt; elle présente trois courbures dans ce court espace, et forme une espèce de demi-cercle circonscrivant le pancréas, et fixé contre le dos, derrière l'estomac. Le *foie*, qui produit la bile, est une glande très volumineuse, de couleur brune, formant une masse divisée en lobes, qui occupe le haut de l'abdomen vers la droite, et s'appuie contre l'estomac. C'est le plus gros des viscères de la cavité abdominale; il est essentiellement composé de deux parties, l'une droite et l'autre gauche, séparées par un sillon longitudinal. Le canal excréteur qui en sort, après s'être dilaté en une vésicule de dépôt, appelée *vésicule biliaire*, va se terminer près du pylore dans le duodénum, sous le nom de *canal cholédoque*. Le *pancréas* est une autre glande blanchâtre, oblongue, placée transversalement dans un repli du duodénum, au-devant de la colonne vertébrale, et se terminant par un conduit unique, dans le canal cholédoque ou dans le duodénum. Il sécrète le liquide pancréatique, qui a beaucoup d'analogie avec la salive. C'est dans la cavité duodénale que s'opère le départ des *fèces*, et que commence l'absorption du chyle.

A la suite du duodénum vient l'*intestin grêle*, qu'on divise en deux parties : le jéjunum et l'iléum; il est circonscrit dans toute son étendue par le gros intestin, avec lequel il est uni par une espèce de fond aveugle nommé *cæcum*, qui a un appendice grêle nommé *appendice vermiforme*. Le gros intestin se divise en cæcum, colon, et rectum, dernière partie du canal intestinal qui se termine à l'anus.

L'intestin grêle est très étroit et forme environ les trois quarts

de la longueur totale des intestins; sa surface extérieure est lisse, les fibres muscalaires qui l'entourent sont serrées les unes contre les autres, et la membrane muqueuse qui en tapisse l'intérieur présente à sa surface une foule de petits *follicules* et de petits appendices saillants nommés *villosités*. On y remarque aussi un grand nombre de plis transversaux nommés *valvules conniventes*. Les follicules sécrètent continuellement une humeur visqueuse, dont la quantité est très considérable. Les villosités paraissent servir spécialement à l'absorption des produits de la digestion, et les valvules conniventes à retarder la marche du chyme.

Les agents principaux de la digestion sont les divers liquides dont les aliments sont baignés, dans les différentes parties du canal intestinal. Par une admirable prévoyance, ces sucs jouissent alternativement de propriétés opposées. Ainsi, le premier liquide est la salive qui est toujours alcaline; le second est le suc gastrique qui est toujours acide, il doit son acidité aux acides hydrochlorique et lactique; le troisième et le quatrième liquide sont la bile et le suc pancréatique qui sont alcalins.

FONCTIONS DE RELATION. — SYSTÈME SENSORIAL.

Les phénomènes variés à l'aide desquels les animaux se mettent en relation avec les objets qui les environnent peuvent être rapportés à six facultés principales : 1° la sensibilité; 2° la contractilité; 3° la volonté; 4° l'instinct; 5° l'intelligence; 6° l'expression. Les quatre premiers existent chez tous les animaux, les deux derniers seulement chez un petit nombre.

On nomme système nerveux l'appareil essentiel des fonctions de relation. Le système nerveux est formé par une substance particulière molle et pulpeuse, d'une couleur blanche ou cendrée; tantôt elle forme des masses plus ou moins considérables qu'on nomme centres nerveux ou ganglions, et d'autres fois elle constitue des cordons allongés et ramifiés qu'on appelle *nerfs*. Dans l'homme et dans les animaux qui en sont voisins, l'appareil nerveux se compose de deux parties appelées système nerveux de la vie organique ou ganglionnaire, et système nerveux de la vie animale ou cérébro-spinal. On désigne ce dernier sous le nom d'encéphale, et il se compose du cerveau, du cervelet et de la moelle épinière; il est logé dans une gaîne osseuse formée par le crâne et la colonne vertébrale ou épine du dos.

On nomme sens les appareils qui servent à faire connaître l'existence des objets, à recevoir l'impression de certaines qualités des corps, et à la transmettre par les nerfs au cerveau. Ils ont pour caractères communs d'offrir une structure ou une disposition de parties déterminées d'après l'espèce d'impression qu'ils doivent recevoir, un développement sensible dans le tissu nerveux, qui se rend à ces organes pour y être le siége de la sensation; et une liaison intime et directe, établie par des nerfs plus ou moins distincts et spéciaux, entre l'organe sensitif externe et l'organe central de la sensibilité. Il existe dans les animaux cinq organes des sens, un pour le sens général du *toucher*, et quatre pour les sens spéciaux du *goût*, de l'*odorat*, de la *vue* et de l'*ouïe*.

Nous ne décrivons en particulier dans le système sensorial que les appareils de la vision et de l'audition et leurs fonctions.

DE LA VISION.

La vision est la fonction qui a pour but de rendre les animaux sensibles à l'action de la lumière, de faire connaître, par l'intermédiaire de cet agent, la forme des corps, leur couleur, leur éclat, leur grandeur, leur position, etc.

L'appareil chargé de la vision se compose d'un nerf particulier nommé nerf optique, de l'œil et de diverses parties destinées à protéger et à mouvoir cet organe.

Le *globe de l'œil* est une sphère creuse un peu renflée en avant et remplie d'humeurs plus ou moins fluides; son enveloppe externe se compose de deux parties, l'une blanche, opaque et fibreuse, nommée *sclérotique*; l'autre transparente qu'on appelle *cornée*, qui occupe le devant de l'œil et qui est enchâssée dans une ouverture circulaire de la sclérotique; à une petite distance, derrière la cornée, on trouve une cloison membraneuse qui est tendue transversalement et fixée au bord antérieur de la sclérotique tout autour de la cornée, et qui, diversement colorée chez les individus, se nomme *iris*, et présente dans son milieu une ouverture circulaire nommée *pupille*. On nomme *chambre antérieure* de l'œil, l'espace compris entre la cornée et l'iris; on donne le nom de *chambre postérieure* à la cavité située derrière l'iris, elles communiquent ensemble par l'ouverture de la pupille; elles sont toutes les deux remplies d'un liquide transparent composé

d'eau, d'albumine et de quelques sels, nommé *humeur aqueuse*. On donne le nom de *procès ciliaires* à des replis rayonnants d'une membrane qui se trouve derrière l'iris. Le *cristallin* est situé presque immédiatement derrière la pupille; c'est une lentille transparente, sécrétée par une membrane particulière qui lui sert d'enveloppe, et que l'on nomme capsule *du cristallin*. Le cristallin est composé d'un grand nombre de couches concentriques dont la dureté va toujours en croissant depuis la circonférence jusqu'au centre; sa face postérieure est beaucoup plus convexe que l'antérieure. On donne le nom d'*humeur vitrée* à une masse gélatineuse et diaphane qui ressemble au blanc d'œuf et qui est enveloppée par la membrane *hyaloïde* d'une grande fermeté qui se replie en dedans pour former des cellules. La *rétine* est l'épanouissement du nerf optique; c'est une sorte de membrane molle et blanche, qui entoure partout l'humeur vitrée, excepté en avant, où se trouvent le cristallin et l'iris; elle n'est séparée de la sclérotique que par un lacis de vaisseaux sanguins, imprégné d'une matière noire qu'on nomme *choroïde*.

Mécanisme de la vision. — Lorsque des rayons lumineux viennent tomber sur la cornée, une partie doit être réfléchie par elle, tandis que le reste la traverse; ceux-ci passent dans un corps beaucoup plus dense que l'air, ils sont par conséquent réfractés et rapprochés de la perpendiculaire avec d'autant plus de force que la surface de la cornée sera plus convexe. Si les rayons lumineux rentraient dans l'air au sortir de la cornée, en se réfractant dans un sens contraire, ils reprendraient leur direction primitive; mais l'humeur aqueuse qu'ils doivent traverser après la cornée a un pouvoir réfringent plus considérable que l'air, et les rayons en y entrant s'écartent moins qu'ils ne s'étaient rapprochés; l'iris absorbe ou réfléchit une grande partie de la lumière qui entre dans l'œil; celle qui tombe sur la pupille pénètre seule; de là ces admirables alternatives de dilatation et de contraction de la pupille, selon que la lumière est faible ou forte. Les rayons lumineux qui ont traversé la pupille, tombent sur le cristallin, changent de nouveau de direction, convergent vers un foyer commun qui se trouve sur la surface de la rétine, épanouissement nerveux dont la paralysie entraîne la cécité, et qui jouit d'une sensibilité tout-à-fait spéciale.

La matière noire qui est située derrière la rétine et qui tapisse tout le fond de l'œil ainsi que la face postérieure de l'iris, sert à absorber la lumière immédiatement après qu'elle a traversé

la rétine; si cette lumière était réfléchie vers d'autres points de cette membrane, elle troublerait considérablement la vue et empêcherait la formation d'images bien nettes au fond de l'œil. Aussi chez les hommes et les animaux albinos, où ce pigment manque, la vision est-elle extrêmement imparfaite; pendant le jour ils voient à peine de manière à pouvoir se conduire.

L'iris remplit l'office d'une espèce de lunette, mais c'est un instrument d'optique plus parfait qu'aucun de ceux que les physiciens sont encore parvenus à construire; car en même temps qu'il est parfaitement acromatique et qu'il ne présente point d'aberration de sphéricité, sa portée peut varier considérablement.

Avant de terminer la vision, nous devons énumérer les parties accessoires et protectrices de l'œil. On nomme *orbites* les cavités osseuses qui logent les yeux; les *sourcils* sont des saillies transversales, formées par la peau qui, dans ce point, est garnie de poils et pourvue d'un muscle spécial; les *paupières* sont des espèces de voiles mobiles placés au-devant de l'orbite, et dont la forme s'accommode à celle du globe de l'œil; leur face interne est tapissée par une membrane nommée *conjonctive;* leur bord libre est garni de poils nommés *cils*, derrière ces poils des petits trous communiquent avec des follicules sébacés nommés *glandes de Meibomius.* Les larmes sont une humeur composée d'eau et de quelques millièmes de matière animale et de sels, elles sont fournies par une glande assez volumineuse située sous la voûte de l'orbite.

DE L'AUDITION OU DU SENS DE L'OUÏE.

L'audition est une fonction destinée à faire percevoir aux animaux les sons produits par les corps vibrants.

Appareil de l'audition. — Cet appareil varie beaucoup dans les diverses classes d'animaux; à l'état de plus grande simplicité il consiste dans des filets nerveux et une pulpe nerveuse qui sont des subdivisions du *nerf acoustique*, et qui flottent dans un bulbe membraneux nommé *vestibule.* C'est dans la pulpe nerveuse que réside le siége de la sensation, ainsi le vestibule qui la contient existe dans tous les animaux pourvus du sens de l'ouïe. Les parties accessoires, propres à renforcer ou à modifier la sensation, qui ne se trouvent point dans toutes les oreilles, mais qui s'ajoutent successivement à mesure que l'organe se perfectionne,

sont : 1° le *limaçon* et les *canaux semi-circulaires* que l'on peut regarder comme une extension de la partie essentielle ou du vestibule, et qui composent avec celui-ci un tout qu'on nomme *labyrinthe* ou *oreille interne*; 2° la *caisse du tympan* ou l'*oreille moyenne*, cavité située entre l'oreille interne et l'air extérieur et qui contient une chaîne de petits osselets; 3° l'*oreille externe*, composée du *pavillon*, sorte de conque destinée à recueillir les vibrations de l'air, et du canal ou méat auditif externe qui les mène au tympan.

Mécanisme de l'audition. — L'audition est destinée à nous faire percevoir les sons; les sons résultent d'un mouvement vibratoire très rapide qu'éprouvent les corps sonores; le *pavillon de l'oreille*, qui a la forme d'un cornet, sert à réfléchir les vibrations et à augmenter l'intensité du son qui arrive à son extrémité rétrécie: c'est particulièrement par l'air contenu dans le conduit auriculaire que les sons pénètrent dans l'intérieur de l'oreille. Le tympan sert principalement à faciliter la transmission des vibrations sonores de l'air extérieur vers le nerf acoustique. Les vibrations se transmettent de la membrane du tympan aux osselets de l'oreille, aux parois de la caisse et surtout à l'air dont cette cavité est remplie; elles parviennent ainsi à la paroi postérieure de la caisse; et là il existe, comme nous l'avons vu, des membranes tendues sur des ouvertures, conduisant dans l'oreille interne, à peu près comme le tympan est tendu entre le conduit auriculaire et la caisse. Or, ces membranes doivent agir de la même manière que celle-ci, c'est-à-dire entrer facilement en vibration et transmettre ces mouvements aux parties voisines. La face postérieure de ces disques membraneux est en contact avec le liquide aqueux qui remplit l'oreille interne, et dans ce liquide sont suspendues les poches membraneuses qui, à leur tour, sont distendues par un autre liquide dans lequel plongent les filets terminaux du nerf acoustique. Les vibrations que ces membranes exécutent doivent donc se transmettre à ce liquide, se communiquer ensuite au sac membraneux du vestibule et arriver enfin au nerf sur lequel leur action produit la sensation du son.

DES MOUVEMENTS. — SYSTÈME LOCOMOTEUR.

Les animaux peuvent agir sur des corps étrangers, leur imprimer des changements, se mouvoir et souvent même exprimer,

d'une manière plus ou moins précise, leurs sentiments ou leurs idées. Cette série de fonctions dépend d'une propriété commune à tous les animaux, la *contractilité* ou faculté qu'ont certaines parties de l'économie animale de se raccourcir tout-à-coup et de s'étendre alternativement. Dans les animaux les plus simples toutes les parties du corps paraissent contractiles; mais quand on s'élève dans la série animale, cette faculté devient l'apanage d'organes particuliers nommés *muscles*. Chaque muscle est formé par la réunion d'un certain nombre de faisceaux musculaires qui sont séparés par du tissu cellulaire, et qui sont eux mêmes composés de fibres très fermes, formées elles-mêmes d'une série de globules d'un trois centième de millimètre de diamètre.

Chaque faisceau musculaire reçoit un ou plusieurs nerfs qui émanent de la masse centrale du système nerveux; lorsqu'on coupe le nerf qui se distribue à un muscle, on empêche ses fibres de se contracter, on le paralyse.

Chez les animaux les plus inférieurs, les muscles s'insèrent tous à la membrane tégumentaire qui est molle et flexible; et c'est en agissant sur elle qu'ils modifient la forme du corps, de façon à le faire mouvoir en totalité ou en partie; mais chez les animaux d'une structure plus parfaite, l'appareil moteur se complique davantage et se compose, non seulement de muscles, mais aussi d'un système de pièces solides servant à augmenter la précision, la force et l'étendue des mouvements, en même temps qu'il détermine la forme générale du corps et protège les viscères contre les violences extérieures.

On donne le nom d'articulation à l'union des divers os entre eux.

Cette espèce de charpente solide, à laquelle les muscles s'attachent, porte le nom de *squelette*. Dans certains animaux, tels que les insectes et les écrevisses, il est situé à l'extérieur et ne consiste que dans une modification de la peau; mais chez l'homme et tous les animaux qui s'en rapprochent, savoir, les mammifères, les oiseaux, les reptiles et les poissons, il est situé à l'intérieur du corps et se compose de parties qui lui appartiennent d'une manière spéciale.

Les mouvements s'exécutent dans tous les animaux vertébrés au moyen de membres articulés qui sont au plus au nombre de quatre, deux antérieurs (membres thoraciques), et deux postérieurs (membres abdominaux). Chez l'homme et tous les animaux qui se rapprochent de lui, ces membres sont composés

de quatre parties : l'épaule, le bras, l'avant-bras et la main, pour l'antérieur ; la hanche, la cuisse, la jambe et le pied, pour le postérieur. L'épaule se compose de deux os (omoplate et clavicule), qui se réunissent en angle et sont mobiles au point de leur jonction. Le bras n'a qu'un seul os (l'humérus) ; l'avant-bras est formé de deux os placés l'un à côté de l'autre (le cubitus et le radius). La main comprend le carpe, le métacarpe et les doigts. Le carpe ou poignet est composé de huit petits os sur deux rangées ; le métacarpe, de cinq os longs qui portent chacun un doigt ; chaque doigt, de trois ou de deux osselets articulés qu'on nomme *phalanges*. Les membres inférieurs sont formés d'une manière analogue. La cuisse, qui répond au bras, est formée d'un seul os qu'on appelle *fémur* ; la jambe est composée de deux os placés l'un à côté de l autre (le tibia et le péroné), etc. Les articulations des membres sont pourvues de muscles dont les uns produisent la flexion d'un des deux os sur l'autre (muscles fléchisseurs) et les autres produisent le mouvement contraire (muscles extenseurs).

La marche est un mouvement sur un sol fixe, dans lequel le centre de gravité est alternativement mû par une partie des organes locomoteurs, et soutenu par les autres, sans que jamais le corps cesse complétement de reposer sur le sol.

Le saut se fait par un déplacement subit des diverses articulations des membres servant à la locomotion, qui auparavant avaient été fléchies plus que de coutume. L'étendue de l'espace ainsi parcouru par l'animal, dans l'air, dépend principalement de la vitesse qui est imprimée à son corps au moment du départ, et cette vitesse dépend à son tour de la longueur proportionnelle des os de ses membres et de la force de ses muscles.

La natation et le vol sont des mouvements analogues à ceux du saut, mais qui ont lieu dans des fluides dont la résistance remplace celle du sol ; l'un des caractères essentiels des organes de vol et de natation, c'est de pouvoir changer de forme et de présenter dans la direction perpendiculaire à celle du mouvement qu'il produit une surface alternativement très large ou très étroite.

DE LA VOIX.

On ne trouve chez les animaux inférieurs aucun instrument particulier pour la voix ; le bruit que l'on nomme *chant des in-*

sectes ne résulte que du frottement de leurs ailes ou d'autres parties de leur enveloppe tégumentaire les unes contre les autres.

Chez les mammifères ce phénomène a lieu dans la portion du conduit aérifère qui est situé au haut du cou et qu'on nomme *larynx*.

Le *larynx* est un tube large et court qui est suspendu à l'os hyoïde et qui se continue inférieuremant avec la trachée-artère. Ses parois sont formées par diverses lames cartilagineuses, désignées sous les noms de *cartilage thyroïde*, de *cartilage cricoïde* et de *cartilage arythénoïde*. En avant on y remarque la saillie connue sous le nom vulgaire de *pomme d'Adam*; et à l'intérieur, la membrane muqueuse qui le tapisse forme vers son milieu deux grands replis latéraux, dirigés d'avant en arrière, et disposés à peu près comme les lèvres d'une boutonnière. Ces replis sont appelés les *cordes vocales* ou *ligaments inférieurs de la glotte*. Ils sont assez épais; leur longueur est d'autant plus considérable que la partie antérieure du cartilage thyroïde (ou pomme d'Adam) est plus saillante, et, à l'aide des contractions d'un petit muscle logé dans leur épaisseur et des mouvements des cartilages arythénoïdes auxquels ils sont fixés en arrière, ils peuvent se tendre et se rapprocher plus ou moins, de façon à agrandir ou à diminuer l'espèce de fente (l'ouverture de la glotte) qui les sépare. Un peu au-dessus des cordes vocales se trouvent deux autres replis analogues de la membrane muqueuse du larynx; on les nomme *ligaments supérieurs de la glotte*, et on appelle *ventricules du larynx* les deux enfoncements latéraux qui les séparent des ligaments inférieurs. L'espace compris entre ces quatre replis constitue ce que l'on nomme la *glotte*. Enfin, on remarque encore, au-dessus de cette ouverture, une espèce de languette fibro-cartilagineuse appelée épiglotte.

L'organe de la voix chez les mammifères est un instrument à vent : quand il existe une plaie permettant à l'air de sortir sans passer par le larynx, la voix est perdue; on la rend immédiatement en rapprochant les lèvres de la plaie. Si celle-ci existe au-dessus du larynx, la voix subsiste sans que l'air ait besoin de passer par la bouche; ainsi il est évident que c'est dans le larynx, et non ailleurs, que se forme la voix.

Ces observations montrent en même temps la nécessité de l'air; et une preuve qu'il est ici le corps sonore, comme dans les

instruments à vent, c'est qu'en le remplaçant, par exemple, par de l'hydrogène, on change complétement le timbre de la voix. Pour faire cette expérience, on chasse par une forte expiration l'air contenu dans la poitrine, puis on aspire de l'hydrogène pur contenu sur l'eau dans une cloche à robinet.

Pour que le son se produise, il ne suffit pas qu'il y ait de l'air dans le larynx, il faut que cet air soit en mouvement ou pour sortir de la poitrine ou pour y entrer; on peut en effet produire des sons en aspirant. Il ne suffit pas non plus qu'il y ait un courant d'air; il faut que les muscles du larynx aient le degré de tension convenable, aussi en général ne produit-on pas de son quand on fait passer artificiellement de l'air par le larynx d'un cadavre; la section de certains nerfs entraîne immédiatement la perte de la voix. Ainsi un chien ne peut plus aboyer dès qu'on lui a coupé les nerfs *laryngés*.

Quand on examine le *larynx*, il devient évident, ainsi que l'a reconnu M. *Savart*, que le son s'y produit comme dans un appeau.

DEUXIÈME SECTION.

ZOOLOGIE DESCRIPTIVE.

CHAPITRE PREMIER. — DES CLASSIFICATIONS.

Définition de ce que l'on entend par caractères EN GÉNÉRAL *et par caractères* NATURELS, ARTIFICIELS, POSITIFS, NÉGATIFS *et par* SUBORDINATION DES CARACTÈRES *pour parvenir à la conception et à l'établissement d'une disposition méthodique des animaux.*

On entend en histoire naturelle par caractère la marque particulière à l'aide de laquelle on peut distinguer un être ou une collection d'êtres.

Un caractère est *positif* quand il indique une qualité dont le

corps est réellement pourvu; il est *négatif* quand il énonce une particularité qui manque, ou contraire à ce corps, et se trouve dans ceux auxquels on le compare.

Les caractères des classes ou de famille sont très différents, selon qu'il s'agit de systèmes artificiels ou de méthodes naturelles Dans les premiers, ils se réduisent à un seul mot, celui sur lequel le système est fondé. Dans les méthodes naturelles, la famille et même la classe étant considérée comme de grands genres, la forme qu'on donne à leurs caractères ressemble plus à celle des genres. On peut distinguer deux sortes de caractères génériques, l'un qu'on peut nommer *essentiel*, qui ne renferme que précisément ce qui est nécessaire pour distinguer le genre d'avec les autres renfermés dans la même classe : ce caractère est *artificiel*; l'autre que l'on nomme *naturel* contient une courte description de toutes les parties les plus essentielles de l'organisation.

Les parties d'un être devant toutes avoir une convenance mutuelle, il est tels traits de conformation qui en excluent d'autres; il en est qui au contraire en nécessitent. Quand on connaît donc tels ou tels traits dans un être, on peut calculer ceux qui coexistent avec ceux-là, ou ceux qui leur sont incompatibles. Les parties, les propriétés ou les traits de conformation qui ont le plus grand nombre de ces rapports d'incompatibilité ou de coexistence avec d'autres, ou, en d'autres termes, qui exercent sur l'ensemble de l'être l'influence la plus marquée sont ce que l'on appelle les *caractères importants*, les *caractères dominateurs*; les autres sont les *caractères subordonnés*, et il y en a ainsi de différents degrés. La comparaison des caractères, sous le rapport de l'influence plus ou moins grave qu'ils exercent sur l'ensemble de l'organisation, la détermination de l'ordre de leur importance relative, est ce que l'on nomme la *subordination des caractères*. Cette étude est le fondement de la méthode naturelle.

Quelles sont les différences principales que présentent les animaux considérés sous le rapport de la forme générale et du volume ?

On peut établir dans le règne animal trois grandes divisions relativement à la forme ; 1° *animaux amorphes* ou sans forme

bien déterminée (exemple : les éponges); 2° *animaux rayonnés*, dans lesquels les parties sont disposées en rayonnant autour d'un centre (exemple : les zoophytes); 3° *animaux pairs* ou *symétriques*, dans lesquels les parties sont symétriquement placées de part et d'autre d'un plan (exemple : les mollusques, les insectes et tous les vertébrés). Dans tout animal pair, on distingue une ligne médiane, ou plus exactement un plan médian; une ligne dorsale et une ligne ventrale, qui sont les bords opposés de ce plan; un côté droit et un côté gauche. Parmi les organes des sens et du mouvement, les uns sont placés dans la ligne médiane, et alors ils sont uniques; les autres sont situés en dehors de cette ligne, et alors ils sont doubles ou pairs. Le corps d'un animal pair se partage ordinairement en *tronc*, *tête* et *membres* ou *appendices*. La tète est la partie antérieure du corps, qui sert de réceptacle aux principaux organes des sens : elle se présente ordinairement sous la forme d'un renflement plus ou moins considérable : elle est séparée du tronc proprement dit, par un rétrécissement plus ou moins sensible, qui est le *cou*. Le tronc se divise en deux parties : une antérieure, qui est le *thorax* ou la *poitrine*, et une postérieure qu'on nomme abdomen. Celui-ci est souvent terminé par une sorte d'appendice médian, qui est la *queue*. Les membres, ou plus généralement les *appendices*, sont des organes extérieurs qui se développent par paires sur les parties latérales du tronc.

Par rapport à leur volume, il existe parmi les animaux de grandes différences; il en est, comme des infusoires, qui ne peuvent être aperçus qu'à l'aide du microscope; il en est d'autres qui, comme les baleines et les éléphants, atteignent des dimensions colossales.

C'est parmi les animaux aquatiques (cétacés et poissons) que se rencontrent les animaux les plus volumineux; c'est dans les contrées chaudes des tropiques qu'habitent les mammifères et les reptiles les plus gigantesques : les éléphants, les girafes, les hippopotames, les boas; les oiseaux de haute stature, tels que les autruches et les casoars. A mesure que l'on se rapproche des pôles, les espèces, en même temps qu'elles deviennent moins nombreuses, diminuent de taille d'une manière très sensible.

Qu'entend-on par SÉRIE *ou* ÉCHELLE ANIMALE ?

Avant de décrire les principaux systèmes de zoologie et les principes sur lesquels ils reposent, nous allons montrer quelles nombreuses variétés les animaux présentent sous le point de vue de leur organisation. On entend par *série* ou *échelle animale* le passage successif et gradué qu'on peut parcourir en étudiant les animaux, en partant de l'organisation la plus simple pour arriver aux animaux pourvus des organes les plus compliqués. Nous allons suivre la gradation que les animaux présentent par rapport aux organes de la nutrition. On pourrait établir une série semblable en prenant pour base, comme nous le verrons en parlant des classifications, le système nerveux, les organes du mouvement, etc. Le plus simple de tous les animaux serait la *monade*, qui n'est qu'une cellule animée qui n'offre qu'une surface exhalante et absorbante, sans traces d'organes internes. Immédiatement après, viennent les polypes, chez lesquels une portion de la surface du corps rentre à l'intérieur pour former un sac alimentaire à une seule ouverture qui est à la fois la bouche et l'anus. Mais ici l'absorption des molécules nutritives peut encore avoir lieu à l'extérieur et par toutes les parties du corps uniformément. Bientôt cette fonction de l'absorption, au lieu de rester commune à tous les points du corps, s'isole en un lieu particulier qui est toujours une portion de surface rentrée ; celle-ci devient alors un organe spécial de nutrition, un *canal intestinal* à deux ouvertures (bouche et anus) ; elle présente des caractères tout autres que la surface extérieure de l'animal, qui s'en distingue sous le nom de *peau*. En même temps s'ajoutent quelques organes secondaires pour des fonctions préparatoires, tels que des organes de mouvement et de préhension (suçoirs ou tubercules), des pièces dures en forme de dents, ou des mâchoires pour une sorte de mastication : c'est ce qu'on observe dans le groupe des *oursins*. Dans un degré plus élevé, celui des *insectes*, l'animal acquiert des facultés nouvelles ; il va chercher lui-même sa nourriture ; il la choisit, la prépare et l'introduit dans son estomac ; de là nouvelles fonctions, et partant de nouveaux organes : organes spéciaux de locomotion, de préhension, de manducation et de sensibilité (pieds articulés, tête pourvue d'yeux et de mâchoires, muscles, nerfs et moelle longitudinale). Dans un degré au-dessus, le groupe des *mollus*-

ques, la surface d'absorption se dédouble en quelque sorte, et se sépare en deux parties, dont l'une est toujours la *cavité digestive*, propre à l'absorption de matières solides et liquides (estomac et intestins), et l'autre est la *surface respiratrice*, propre à l'absorption des gaz (branchies ou poumons). Le fluide nourricier, absorbé par les parois du canal intestinal, et qui, par son mélange avec d'autres liquides de l'intérieur, prend le nom de sang, a besoin d'être porté dans l'organe respiratoire pour y être élaboré par l'action de l'air; de là il est conduit par des canaux ou vaisseaux fermés vers toutes les parties du corps, d'où il revient par d'autres vaisseaux pour repasser par l'organe respiratoire, et recommencer la même circulation. Ces nouvelles fonctions de la circulation et de la respiration, nécessitent de nouveaux organes : un *cœur* pour donner l'impulsion au fluide; des *artères* et des *veines* pour le contenir et le diriger, des *branchies* ou des *poumons* pour le mettre en contact avec l'air; à ces parties s'en joignent d'autres, telles qu'un *foie*, organe interne de digestion, et un *cerveau*, organe central de sensibilité. Dans les animaux supérieurs (les vertébrés), complication toujours croissante de l'organisation, et en même temps multiplication ou développement des facultés. Outre les organes propres au groupe précédent, on voit paraître un nouvel organe de la locomotion (*squelette articulé*); les organes des sens deviennent plus nombreux ou plus parfaits; l'appareil de la nutrition se complique graduellement d'organes relatifs à la mastication, l'insalivation et la déglutition des animaux (*dents*, *glandes salivaires*, *langue*, etc.), à la conversion du bol alimentaire en matière propre à être absorbée (*foie* et *pancréas*) à la sécrétion des urines (*reins*), etc. Cette gradation dans la complication ou le développement des organes se fait sentir dans les diverses classes des vertébrés, lorsqu'on s'élève des poissons aux reptiles, des reptiles aux oiseaux, et des oiseaux aux mammifères.

Exposition des principes des différentes sortes de distribution méthodique des animaux, connues sous le nom de SYSTÈMES DE MÉTHODES SYSTÉMATIQUES, DICHOTOMIQUES, DE MÉTHODES NATURELLES, *et, par suite, de ce qu'on entend par* INDIVIDU, VARIÉTÉ, GENRE, FAMILLE, ORDRE, CLASSE, EMBRANCHEMENT, TYPE *et* RÈGNE. *Donner la définition et les principes de la nomenclature appliquée à la dénomination et à la classification méthodique des animaux.*

L'histoire naturelle doit avoir pour base ce que l'on nomme un *système de la nature*, ou un grand catologue dans lequel tous les êtres portant des noms convenus puissent être reconnus par des caractères distinctifs, et soient distribués en divisions et subdivisions, elles-mêmes nommées et caractérisées où l'on puisse les chercher.

Pour que chaque être puisse toujours se reconnaître dans ce catalogue, il faut qu'il porte son caractère avec lui : on ne peut donc prendre les caractères dans des propriétés ou dans des habitudes dont l'exercice soit momentané ; mais ils doivent être tirés de la conformation.

Presque aucun être n'a de caractère simple, ou ne peut être reconnu par un seul des traits de sa conformation ; il faut presque toujours la réunion de plusieurs de ses traits pour distinguer un être des êtres voisins qui en ont bien aussi quelques uns, mais qui ne les ont pas tous, ou les ont combinés avec d'autres qui manquent au premier être, et plus les êtres que l'on a à distinguer sont nombreux, plus il faut accumuler de traits; en sorte que, pour distinguer de tous les autres un être pris isolément, il faut faire entrer dans son caractère sa description complète.

C'est pour éviter cet inconvénient que les divisions et subdivisions ont été inventées. L'on compare ensemble seulement un certain nombre d'êtres voisins, et leurs caractères n'ont besoin que d'exprimer leurs différences, qui, par la supposition même, ne sont que la moindre partie de leur conformation. Une telle réunion s'appelle un *genre*.

On retomberait dans le même inconvénient pour distinguer les genres entre eux, si l'on ne répétait l'opération en réunis-

sant les genres voisins pour former un ordre, les ordres voisins pour former une classe.

Les classes sont elles-mêmes des divisions des grands *embranchements* ou *types* dont le règne animal se compose. Cet échafaudage de divisions, dont les supérieures contiennent les inférieures, est ce qu'on appelle une classification.

Avant de classer les êtres dont le règne animal se compose, il faut connaître ce qu'on entend par individu ou espèce, et par variété. On définit l'*espèce*, la réunion des individus descendus l'un de l'autre, ou de parents communs, et de ceux qui se ressemblent autant qu'ils se ressemblent entre eux. Il existe des circonstances, comme la chaleur, l'abondance, ou l'espèce de nourriture, etc., qui peuvent influer sur le développement plus ou moins prompt et plus ou moins étendu des individus. Ces influences peuvent être générales sur tout le corps, ou partielles sur certains organes, de là vient que la similitude des descendants avec leurs parents ne peut pas être parfaite. Les différences de ce genre entre les êtres organisés sont ce que l'on appelle des *variétés*.

Principes de la nomenclature appliquée à la dénomination des animaux.

Dans le principe de la science, les savants se contentèrent de décrire les animaux connus du peuple, et de leur donner le nom vulgaire; mais s'il avait fallu un nom distinct pour chaque animal, le nombre en eût été prodigieux, et aucune mémoire n'eût pu y suffire. Pour obvier à ce double inconvénient, les fondateurs de la science prirent l'usage de désigner certaines espèces par des noms composés qui indiquaient leurs rapports avec d'autres déjà connues. A mesure que le nombre des espèces augmentait, on fut obligé d'allonger ces noms comparatifs, et on les changea peu à peu en de véritables phrases. De pareils noms ne pouvaient plus être usuels; leur longueur était telle que la mémoire la plus habile ne pouvait les retenir qu'à peu près; leur texture ne les rendait accessibles qu'à ceux qui possédaient le latin; enfin, surtout, le moindre livre, le moindre catalogue devenait tellement vaste, que la science courait risque de s'ensevelir sous des tas de volumes. Linnée, frappé de ces grands inconvénients, proposa, et l'universalité des naturalistes admit, que le nom d'un être naturel serait composé de deux mots; le premier analogue à nos

noms de famille, qu'il appela le nom *générique*, serait commun à toutes les espèces d'un genre; le second, analogue à nos noms de baptême, qu'il nomma *spécifique*, devait être propre à chaque espèce d'un genre. Par cette ingénieuse disposition, le nombre immense des noms se trouva tout d'un coup réduit à un terme peu considérable, si on le compare au nombre des êtres. Ainsi, pour désigner le loup, on se sert des deux mots *canis lupus:* canis sera le nom générique, et lupus le nom spécifique.

On peut classer les animaux de trois manières différentes. Si on les étudie, quant à leurs rapports avec un autre ordre de connaissances, alors on les classe en ayant égard à leurs usages, à leurs propriétés, à leur patrie. On désigne ces classifications sous le nom d'*usuelles* ou de *pratiques*.

Si on a pour but de donner à ceux qui ne connaissent point le nom des animaux un moyen facile de découvrir dans les livres par l'inspection de l'animal lui-même, ces classifications ont recu le nom de *méthodes artificielles*.

Si enfin on veut étudier les animaux, soit en eux-mêmes, soit dans le rapport réel qu'ils ont entre eux, et de les classer de manière que ceux qui sont les plus voisins dans l'ordre de la nature soient aussi les plus rapprochés dans nos livres, ces classifications ont reçu le nom de *méthodes naturelles*.

Le plus grand avantage des classifications artificielles, c'est de faire trouver facilement le nom de l'individu que l'on examine. Parmi les auteurs qui ont donné des classifications artificielles, les uns ont pensé qu'il convenait de tirer tous les caractères d'un seul organe, et les classifications fondées sur ce principe ont reçu le nom spécial de *systèmes;* d'autres ont fait remarquer, au contraire, que cette obligation de tirer tous les caractères d'un seul organe obligeait à employer des considérations trop minutieuses et souvent incertaines, et ont déduit leurs classifications de tous les organes. Ces sortes de classifications ont reçu le nom particulier de méthodes systématiques.

Parmi les méthodes destinées à donner avec facilité le nom des animaux, la plus facile de toutes est la méthode analytique ou dichotomique. La marche naturelle de l'esprit dans la recherche du nom d'un animal est de séparer d'abord le règne animal en deux grandes classes, ce qui réduit la difficulté du choix à moitié; de diviser de même chacune de ces parties en deux autres, et ainsi de suite jusqu'à ce qu'on arrivât à n'avoir à comparer ensemble que deux animaux que l'on sépare par un

caractère distinctif. Dans cette suite de bifurcations, on doit toujours présenter en regard des caractères contradictoires, c'est-à-dire que la vérité de l'un entraîne nécessairement la fausseté de l'autre.

Toutes les classifications artificielles des animaux sont abandonnées. Il ne peut y avoir qu'une méthode, qui est la *méthode naturelle*. On nomme ainsi un arrangement dans lequel les êtres du même genre seraient plus voisins entre eux, que de ceux de tous les autres genres; les genres du même ordre, plus que de ceux de tous les autres ordres, et ainsi de suite. Cette méthode est l'idéal auquel l'histoire naturelle doit tendre; car il est évident que si l'on y parvenait, l'on aurait l'expression exacte et complète de la nature entière. En effet, chaque être est déterminé par ses ressemblances et ses différences avec d'autres, et tous ces rapports seraient parfaitement rendus par l'arrangement que nous venons d'indiquer.

En un mot, la méthode naturelle serait toute la science, et chaque pas qu'on lui fait faire approche la science de son but.

Donner une idée générale de ce qu'on entend par DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE DES ANIMAUX *à la surface de la terre, ou de* LA GÉOGRAPHIE ZOOLOGIQUE.

Les animaux sont soumis dans leur distribution à la surface du globe à un certain nombre de lois dont la recherche est l'objet de la *géographie zoologique*. On s'occupe, dans cette partie de la science, des stations, des habitations des animaux, de la prépondérance ou de l'existence exclusive de certaines espèces, de certains genres ou de certaines familles, dans telle ou telle région.

Chaque animal est appelé par son organisation à se développer dans de certaines conditions que la nature lui destine; il ne peut vivre et se propager que dans les milieux et les localités où l'influence des circonstances extérieures favorise l'action de la vie. Ainsi, il doit y avoir un rapport nécessaire entre les stations des animaux, c'est-à-dire les conditions spéciales des lieux où ils vivent, et l'espèce de séjour qui leur est destiné et imposé par la nature de leur organisation. On voit, en effet, beaucoup de genres confinés dans de certaines régions dont ils ne sortent

jamais; ils paraissent appartenir exclusivement à certaines zones ou à une réunion particulière de conditions climatériques. Dans plusieurs familles, le nombre des espèces semble partir d'un lieu central et diminuer à mesure que l'on s'en éloigne, en sorte qu'il est possible d'assigner les limites qui circonscrivent leurs habitations. La plupart des races sont demeurées dans les environs de leur berceau, à l'exception de celles que l'homme a réduites en domesticité. Ce n'est que parmi les animaux qui possèdent des moyens de déplacement favorables, comme les oiseaux et les poissons, que l'on trouve quelques espèces auxquelles on peut donner le nom de cosmopolites. Si les espèces cosmopolites sont rares, il y a un grand nombre de genres, au contraire, qui ont des représentants sous toutes les zones, surtout parmi les mollusques, les poissons et les oiseaux. Chez les reptiles et les mammifères, la patrie des espèces a généralement des limites assez resserrées, et il en est souvent de même de celle de familles entières. Ainsi, notre crapaud commun ne se trouve plus hors de l'Europe occidentale; les civettes, les roussettes, les singes à callosités, sont exclusivement propres à l'ancien continent; les quadrumanes à queue prenante, les coatis, les sarigues, les oiseaux-mouches, appartiennent, au contraire, à l'Amérique; les monotrèmes à l'Australie, etc. Buffon a remarqué le premier que les animaux du midi de l'ancien monde et ceux de l'Amérique du Sud diffèrent toujours spécifiquement, et que ce n'est que dans le nord que les espèces sont communes à l'un et à l'autre continent.

Analyser les principaux systèmes de zoologie et les principes sur lesquels ils reposent.—Faire connaître les principales différences extérieures et intérieures qui distinguent les grandes divisions du règne animal, MAMMIFÈRES, OISEAUX, REPTILES, AMPHIBIENS, POISSONS, INSECTES, MOLLUSQUES et ZOOPHYTES, *et les principes de distribution systématique des espèces qu'elles renferment. — Donner enfin quelques exemples de l'emploi de la méthode naturelle appliquée à la distribution géographique des animaux et à l'économie domestique.*

Les trois classifications d'animaux qui sont le plus généralement suivies en France, sont celles de MM. Duméril, de Blainville,

et de Cuvier. Nous exposerons seulement les principes sur lesquels reposent les deux premières.

MÉTHODE DE M. DUMÉRIL.

M. Duméril partage le règne animal en neuf classes, qui sont établies d'après le résultat essentiel de l'ensemble de leur organisation; si l'on considérait chacune de leurs fonctions en particulier, cet ordre serait interverti.

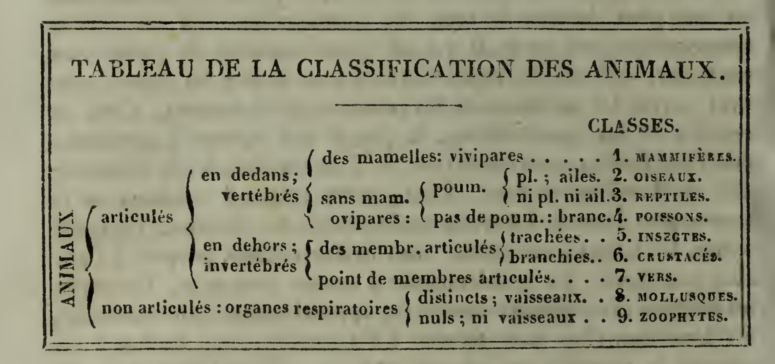


TABLEAU DE LA CLASSIFICATION DES ANIMAUX.

						CLASSES.
ANIMAUX	articulés	en dedans; vertébrés	des mamelles: vivipares		. . . . .	1. MAMMIFÈRES.
			sans mam. ovipares :	poum.	pl.; ailes.	2. OISEAUX.
					ni pl. ni ail.	3. REPTILES.
				pas de poum.: branc.		4. POISSONS.
		en dehors; invertébrés	des membr. articulés		trachées. .	5. INSECTES.
					branchies..	6. CRUSTACÉS.
			point de membres articulés. . . .			7. VERS.
	non articulés : organes respiratoires		distincts; vaisseaux. .			8. MOLLUSQUES.
			nuls; ni vaisseaux . .			9. ZOOPHYTES.

MÉTHODE DE M. DE BLAINVILLE.

M. de Blainville a fondé une méthode naturelle sur les caractères extérieurs des animaux; il n'emploie jamais comme caractères les différences anatomiques qui tiennent aux modifications des organes internes. Celles-ci, à cause du rapport qui existe entre les différentes parties d'un même appareil, peuvent toujours selon lui être traduites rigoureusement par les modifications correspondantes de l'enveloppe extérieure, c'est-à-dire par la forme générale et par la disposition des organes des sens et du mouvement. Ces caractères, purement extérieurs, choisis de manière à reproduire les divisions fondées sur l'ensemble de l'organisation, sont ce qu'il regarde comme les vrais *caractères zoologiques*. Ainsi, dans sa méthode, on peut déterminer la place qu'occupe un animal dans la série, sans avoir besoin de recourir au scalpel pour s'assurer de la forme du cœur, du nombre de ses cavités, et de la couleur rouge ou blanche du sang.

Parmi les différences anatomiques, M. de Blainville place au premier rang celles que fournissent les appareils de la sensibilité et de la locomotion, parce qu'elles tiennent aux facultés les plus élevées et les plus caractéristiques de l'animalité. Celles que fournissent les organes de la reproduction, de la digestion, de la circulation et de la respiration, ne viennent qu'en seconde ligne. M. de Blainville divise le règne animal en trois sous-règnes : les *animaux pairs* ou *zygomorphes*, les *animaux rayonnés* ou *actinomorphes*, les *animaux irréguliers* ou *amorphes*. Le premier sous-règne se subdivise en trois types principaux : les *ostéozoaires* (animaux vertébrés ou articulés intérieurement), les *entomozoaires* (animaux articulés extérieurement), et les *molacozoaires* (animaux mollusques). Le type des ostéozoaires se subdivise, d'après les modifications de l'enveloppe extérieure, en cinq classes : les *animaux pilifères* (ou mammifères), les *pennifères* (ou oiseaux), les *squamifères* (ou reptiles), les *nudipellifères* (ou amphibies), les *branchifères* (ou poissons). Le type des entomozoaires se partage en classes d'après les appendices ambulatoires (hexapodes, octopodes, décapodes, etc.); les classes se subdivisent en ordres d'après les variations des systèmes locomoteur, dentaire et digestif. Les genres dans lesquels se partagent les ordres sont établis d'après des différences d'organisation, toujours traduites extérieurement, et qui sont en rapport avec des différences dans les mœurs et les habitudes des espèces.

MÉTHODE DE CUVIER.

Cuvier a classé le règne animal d'après la méthode naturelle, en ne prenant pour base que son organisation. Si l'on embrasse d'un coup d'œil universel tout le règne animal, on voit qu'il existe quatre formes principales, quatre plans généraux, si l'on peut s'exprimer ainsi, d'après lesquels tous les animaux semblent avoir été modelés, et dont les divisions ultérieures, de quelque titre que les naturalistes les aient décorées, ne sont que des modifications assez légères fondées sur le développement ou l'addition de quelques parties qui ne changent rien à l'essence du plan.

Premier type ou embranchement. — Animaux vertébrés.

Dans la première de ces formes, qui est celle de l'homme et des animaux qui lui ressemblent le plus, le cerveau et le tronc principal du système nerveux sont renfermés dans une enveloppe osseuse qui se compose du crâne et des vertèbres; aux côtés de cette colonne mitoyenne s'attachent les côtes et les os des membres qui forment la charpente du corps; les muscles recouvrent, en général, les os qu'ils font agir, et les viscères sont renfermés dans la tête et dans le tronc. On appelle les animaux de cette forme les animaux vertébrés. Ils ont tous le sang rouge, un cœur musculaire, une bouche à deux mâchoires placées l'une au-dessus ou au devant de l'autre; des organes distincts pour la vue, pour l'ouïe, pour l'odorat et pour le goût, placés dans les cavités de la face; jamais plus de quatre membres; des sexes toujours séparés, et une distribution très semblable des masses médullaires et des principales branches du système nerveux.

En examinant de plus près chacune des parties de cette grande série d'animaux, on y trouve toujours quelque analogie, même dans les espèces les plus éloignées l'une de l'autre, et l'on peut suivre les dégradations d'un même plan, depuis l'homme jusqu'au dernier des poissons.

Deuxième type. — Mollusques.

Dans la deuxième forme, il n'y a point de squelette; les muscles sont attachés seulement à la peau, qui forme une enveloppe molle, contractile en divers sens, dans laquelle s'engendrent, en beaucoup d'espèces, des plaques pierreuses appelées coquilles, dont la position et la production sont analogues à celles du corps muqueux; le système nerveux est avec les viscères dans cette enveloppe générale, et se compose de plusieurs masses éparses réunies par des filets nerveux, et dont les principales, placées sur l'œsophage, portent le nom de cerveau. Des quatre sens propres, on ne distingue plus que les organes de celui du goût et celui de la vue; encore ces derniers manquent-ils souvent. Une seule famille montre les organes de l'ouïe. Du reste, il y a toujours un système complet de circulation, et des organes particuliers pour la respiration. Ceux

de la digestion et des sécrétions sont à peu près aussi compliqués que dans les animaux vertébrés. On appelle ces animaux de la seconde forme *animaux mollusques.*

Quoique le plan général de leur organisation ne soit pas aussi uniforme, quant à la configuration extérieure des parties, que celui des animaux vertébrés, il y a toujours entre ces parties une ressemblance au moins du même degré dans la structure et dans les fonctions.

Troisième type. — Animaux articulés.

La troisième forme est celle qu'on observe dans les insectes, les vers, etc. Leur système nerveux consiste en deux longs cordons régnant le long du ventre, renflés d'espace en espace en nœuds ou ganglions ; le premier de ces nœuds, placé au-dessus de l'œsophage et nommé cerveau, n'est guère plus grand que ceux qui sont le long du ventre, avec lesquels il communique par des filets qui embrassent l'œsophage comme un collier. L'enveloppe de leur tronc est divisée par des plis transverses en un certain nombre d'anneaux dont les téguments sont tantôt durs tantôt mous, mais où les muscles sont toujours attachés à l'intérieur. Le tronc porte souvent à ses côtés des membres articulés, mais souvent aussi il en est dépourvu. On donne à ces animaux le nom d'*animaux articulés.* C'est parmi eux que s'observe le passage de la circulation dans les vaisseaux fermés à la nutrition par imbibition, et le passage correspondant de la respiration dans des organes circonscrits à celle qui se fait par des trachées ou vaisseaux aériens répandus dans tout le corps. Les organes du goût et de la vue sont les plus distincts chez eux ; une seule famille en montre pour l'ouïe. Leurs mâchoires, quand ils en ont, sont toujours latérales.

Quatrième type. — Animaux rayonnés.

Enfin, la quatrième forme, qui embrasse tous les animaux connus sous le nom de zoophytes, peut aussi porter le nom d'*animaux rayonnés.*

Dans tous les précédents, les organes des mouvements et des sens étaient disposés symétriquement aux deux côtés d'un axe. Il y a une face postérieure et une antérieure dissemblables. Dans

ceux-ci, ils le sont comme des rayons autour d'un centre, et cela est vrai, même lorsqu'il n'y en a que deux séries, car alors les deux faces sont semblables. Ils approchent de l'homogénéité des plantes; on ne leur voit ni système nerveux bien distinct, ni organes de sens particuliers; à peine aperçoit-on dans quelques uns des vestiges de circulation, leurs organes respiratoires sont pres que toujours à la surface de leur corps; le plus grand nombre n'a qu'un sac sans issue pour tout intestin, et les dernières familles ne présentent qu'une sorte de pulpe homogène, mobile et sensible.

PREMIER EMBRANCHEMENT. — VERTÉBRÉS.

Les vertébrés sont partagés en quatre classes, dont voici les caractères principaux.

Les *mammifères* sont vivipares, ont des mamelles, le sang chaud à globules circulaires, la respiration pulmonaire et simple, la circulation double, complète, le cœur à quatre loges, la bouche armée de dents, la peau garnie de poil, et tous les membres organisés en général pour la marche.

Les *oiseaux* sont ovipares, à sang chaud, ont la respiration pulmonaire double, la bouche prolongée en bec, le corps couvert de plumes, et les membres extérieurs organisés pour le vol.

Les *reptiles* sont ovipares, à sang froid, ou mieux à température variable, la circulation double, incomplète, le cœur ordinairement à trois loges, le corps nu ou écailleux, les membres organisés généralement pour la marche.

Les *poissons* sont ovipares; ils respirent par des branchies, ont le cœur à deux loges, la circulation double, complète, le corps nu ou écailleux, et les membres organisés pour la nage.

1re *Classe. — Des vertébrés mammifères.*

Voici d'après quels principes on a établi dix ordres dans la classe des mammifères.

Le dixième, celui des *cétacés*, se reconnaît en ce qu'il n'a qu'une seule paire de membres, une nageoire horizontale à l'extrémité de la queue et la peau nue.

Les mammifères à quatre membres forment deux sections: les espèces à sabot et celles à ongles.

Parmi les ongulés, on distingue l'ordre des *ruminants*, en ce qu'il n'a que deux sabots et qu'il rumine, ce qui exige dans les organes digestifs une disposition particulière. Les *solipèdes* ont tous les doigts enveloppés dans un sabot unique et ne ruminent pas. Les *pachydermes*, privés également de la faculté de ruminer, ont trois, quatre ou cinq sabots.

La section des onguiculés est plus nombreuse que celle des ongulés. Elle comprend d'abord les *marsupiaux*, mammifères singuliers dont le bassin supporte toujours deux os surnuméraires, servant ordinairement de soutien à un repli de la peau de l'abdomen, qui forme une espèce de poche (*mansupium*); leurs petits naissent de très bonne heure et à peine ébauchés. Les autres onguiculés ont la génération normale, et n'ont pas d'os surnuméraire; ils forment cinq ordres, dont les uns ont trois sortes de dents, et les autres manquent d'incisives ou de canines, ou même de toute espèce de dents.

On nomme *édentés* ceux qui sont privés d'incisives, ce qui fait paraître au premier abord leur bouche tout-à-fait privée de dents; plusieurs sont même réellement édentés.

Les *rongeurs* ont deux incisives séparées des molaires par un espace vide, et manquent par conséquent de canines.

Les ordres restant ont les trois sortes de dents; mais les *carnassiers* n'ont le pouce opposable aux autres doigts à aucun de leurs membres, tandis que les *quadrumanes* l'ont ainsi conformé aux quatre extrémités, et les *bimanes* à celles de devant seulement.

1° L'ordre des bimanes ne se compose que d'un seul genre, l'homme. On en distingue au moins trois variétés bien caractérisées: 1° la race caucasique ou blanche: elle peuple l'Europe, le Nord de l'Afrique, et l'Asie occidentale; 2° la race mongolique ou jaune: elle habite la Chine et le Japon; 3° la race nègre ou éthiopique: elle habite le Midi de l'Atlas.

2° *Quadrumanes*. Cet ordre, très nombreux, se divise en deux familles: les *singes* et les lémuriens ou makis. Tous ces quadrumanes vivent dans les forêts les plus profondes des contrées méridionales de l'Ancien et du Nouveau Monde: l'Amérique du Sud, la Chine, les Indes et l'Afrique, sont les pays où l'on en rencontre le plus; le Midi de l'Europe n'en nourrit qu'une seule espèce; encore y est-elle rare et est-elle originaire d'Afrique. Leur nourriture consiste principalement en fruits, en racines tendres, en cannes à sucre, melons, etc.; quelques espèces ne

dédaignent pas les coquillages, et surtout les insectes, dont elles sont très friandes.

3° L'ordre des carnassiers est divisé en trois familles : les *cheiroptères*, dont les côtés du corps sont garnis d'un repli de la peau étendu entre leurs quatre membres, et dont les molaires sont à couronne plate ou hérissées de pointes coniques; les *insectivores*, dont les molaires sont toutes garnies de pointes coniques, mais dont les quatre membres sont libres et propres à la marche; les *carnivores*, dont les membres, d'ailleurs diversement conformés, sont constamment libres de tout repli cutané, et dont les molaires sont garnies de tubercules mousses ou tranchants.

D'après la différence de développement de la peau des flancs, on divise les *cheiroptères* en deux tribus : les *galéopithèques*, chez lesquels la membrane latérale, partant de la commissure des lèvres, s'étend entre les quatre membres, sans que les doigts de ceux de devant aient plus de longueur que ceux de derrière; et les *chauves-souris*, chez lesquelles le repli de la peau ne commence qu'au bas du cou, et se trouve étendu entre les doigts des membres antérieurs qui acquièrent pour cela une longueur démesurée, et qui sont propres au vol.

La famille des *insectivores* offre quatre genres principaux : les hérissons, les musaraignes, les desmans et les taupes.

La conformation des membres des *carnivores*, et les modifications qu'elle entraîne dans leurs mouvements, les ont fait diviser en trois tribus : les *plantigrades*, dont les membres, disposés pour la marche, appuient leur plante entière sur le sol; les *digitigrades* qui, dans la marche, ne touchent la terre que par l'extrémité de leurs doigts; et les *amphibies*, dont les membres, impropres à la marche, ressemblent à des nageoires, et ne peuvent servir qu'à la natation.

La tribu des *plantigrades* comprend des animaux qui se trouvent dans tous les pays du globe; mais ils sont beaucoup plus connus dans les pays septentrionaux que dans ceux du Midi. Couverts d'une fourrure épaisse, ils peuvent résister avec avantage aux intempéries de l'air, et braver la rigueur des hivers; aussi la saison des amours, qui arrive au printemps pour la plupart des autres quadrupèdes, commence pour ceux-ci avec les premiers froids; ils sont généralement peu féconds, et ne produisent ordinairement que deux ou trois petits.

Cette tribu se compose de neuf genres, dont les plus impor-

tants à connaître sont les *ours*, les *ratons*, les *blaireaux* et les *gloutons*.

La tribu des *digitigrades* renferme les animaux les plus sauvages qu'on a divisés en six genres : les martres, les loutres, les chiens, les civettes et les chats. Le genre chien a été partagé en deux sous-genres : les chiens ou loups et les renards. Les civettes ont sous leur queue une poche profonde, destinée à recevoir une humeur très odorante nommée *civette*. On compte plus de trente espèces pour le genre chat, si remarquable par ses ongles rétractiles, dont les principales, pour l'ancien continent, sont le lion, le tigre, la panthère, le léopard, le chat ordinaire, et pour l'Amérique le jaguard.

La *tribu des amphibies* comprend toutes les espèces de mammifères à quatre pattes, dont les doigts sont réunis par une membrane, et armés d'ongles distincts. Ce groupe est entièrement artificiel, quoique toutes les espèces qu'il rapproche se ressemblent par le milieu dans lequel elles vivent, puisqu'elles se trouvent presque toujours dans l'eau, d'où elles ne sortent que pour se traîner avec peine sur le rivage; il faut avouer cependant qu'elles diffèrent beaucoup entre elles par leur organisation intérieure. On les a partagées en trois genres, d'après les dents : tantôt les dents sont de trois sortes, comme dans les *phoques*; tantôt d'une ou de deux sortes seulement, comme dans les *morses* et les *lamantins*.

Il ne faut pas confondre les amphibies avec les amphibiens dont nous parlerons plus bas, en traitant de la classe des reptiles.

4° L'*ordre des rongeurs* se compose d'espèces nombreuses qui habitent toutes les parties du globe; celles qui vivent dans le Nord présentent en général une belle fourrure. On recherche celle du *petit-gris*, du *hamster* et surtout du *chinchilla*.

L'ordre des rongeurs est tellement naturel, qu'il est très difficile d'y établir de grandes coupes; on les divise cependant en deux sections : la première est celle des *claviculés*, qui ont des clavicules complètes, s'articulant avec l'omoplate et le sternum, ce qui permet à leurs membres antérieurs des mouvements plus variés; la seconde comprend les *acléidiens*, qui n'ont point cet os, ou qui l'ont trop court pour servir à écarter l'épaule du sternum.

On compte neuf genres parmi les *rongeurs claviculés :* les écureuils, les marmottes, les loirs, les chinchillas, les taupes, les rats, les gerboises et les castors. Ces derniers sont remarquables par l'art avec lequel ils construirent leur demeure, et par le

produit qu'ils fournissent à la médecine, connu sous le nom de castoréum.

La section des rongeurs acléidiens ne se compose que de trois genres principaux : les porcs-épics, les lièvres et les cabiais.

5° Les espèces composant l'ordre des édentés sont des animaux timides et paresseux; ils appartiennent exclusivement aux contrées méridionales de l'ancien et du nouveau continent, et se divisent naturellement en deux familles : les *tardigrades* qui se distinguent par leur face courte et arrondie, et par la présence de canines; et les *édentés propres*, qu'on reconnaît à leur museau allongé et pointu, et à l'absence de canines.

6° Les espèces qui composent l'ordre des *marsupiaux* appartiennent toutes, à l'exception d'un genre, à la Nouvelle-Hollande ou aux îles qui en dépendent, fait non moins remarquable que l'existence exclusive des *makis* dans l'île de Madagascar. On dirait que chaque continent, ainsi que les îles d'une étendue considérable, ont des espèces d'animaux qui n'appartiennent qu'à eux seuls.

On divise les *marsupiaux* en cinq familles : les *pédimanes* ou *sarigues* qui ont des canines également longues aux deux mâchoires, et le pouce opposable aux autres doigts, aux membres postérieurs; les *thylacinés*, qui ont les canines des précédents sans avoir le pouce opposable; les *phalangers*, qui manquent d'incisives inférieures ou qui les ont extrêmement petites, et qui ont les membres terminés en mains comme les *pédimanes;* les *macrotarses*, dont les membres postérieurs sont de beaucoup plus longs que ceux de devant, et qui sont dépourvus de canines ou les ont très petites; enfin les *monotrèmes*, qui manquent complétement de dents, et dont les pattes sont extrêmement courtes et les doigts ordinairement palmés.

7° L'ordre des *pachydermes* se divise en deux familles : les proboscidiens et les pachydermes proprement dits.

On ne compte que deux genres dans la famille des proboscidiens : les *mastodontes*, qui ont disparu dans les révolutions du globe et qu'on ne rencontre plus qu'à l'état fossile, et les éléphants qui sont si remarquables par la longueur de leurs défenses et par la conformation singulière de leur nez qui s'allonge en forme de tube, et constitue une trompe cylindrique dont ils se servent comme organe de préhension. Il existe deux espèces dans ce genre : l'éléphant des Indes et l'éléphant d'Afrique. Jadis il existait une troisième espèce, le mammouth, qui habitait les

pays les plus froids. La famille des *pachydermes* propres se compose d'espèces qui, à l'exception du sanglier, n'habitent que les contrées méridionales des deux continents. Cette distribution géographique rendait inutile pour eux une fourrure bien fournie; aussi leur peau est-elle presque entièrement nue; en compensation, elle est d'une grande épaisseur; quelquefois même il se trouve au-dessous d'elle une large couche de lard qui est bien suffisante pour garantir leur corps des vicissitudes atmosphériques auxquelles il peut être sujet.

On compte, dans la famille dont nous parlons, quatre principaux genres dont les espèces subsistent, et sept qui ont entièrement disparu de la surface du globe et dont le sein de la terre recèle les ossements. Des quatre genres encore vivants, deux ont les doigts en nombre impair comme les éléphants : ce sont les *rhinocéros* et les *tapirs*; deux autres les ont en nombre pair et se rapprochent un peu plus des ruminants : ce sont les *cochons* et les *hippopotames*.

8° L'ordre des *solipèdes* est peu nombreux et ne comprend qu'un seul genre, celui des chevaux (*equus*), qui comprend les espèces d'animaux les plus utiles à l'homme : le cheval, l'âne, le zèbre, le daw, etc.

9° L'ordre des *ruminants* se divise, d'après la présence ou l'absence des cornes, en deux familles.

Les ruminants sans cornes ne contiennent que trois genres : les chameaux, les lamas et les chevrotains. Ce dernier genre contient une espèce, le *moschus moschiferus*, qui nous fournit le musc.

Les ruminants à cornes se divisent en trois tribus : 1° ceux à cornes caduques; 2° ceux à cornes persistantes et recouvertes par la peau; 3° ceux à cornes creuses. La première tribu ne contient que le genre cerf; la seconde que le genre girafe. La troisième tribu, les ruminants à cornes creuses, se compose de quatre genres : les antilopes, les chèvres, les brebis et les bœufs.

10° L'ordre des *cétacés* se divise en deux familles : 1° les cétacés herbivores qui se trouvent particulièrement dans les mers méridionales et dans les grands fleuves qui s'y jettent; une seule espèce fréquente l'océan boréal. La principale espèce de cette famille est le lamantin. 2° Les cétacés souffleurs se rapprochent plus encore de la forme des poissons; ils ne sortent jamais de l'eau : ils nous fournissent l'huile de poisson. On les divise en deux tribus : les delphinoïdes, qui comprennent les genres dauphin, marsouin et les narvals, et les macrocéphales ou cétacés

à grosse tête, qui comprennent deux genres importants, la baleine et le cachalot.

Deuxième classe. — Les oiseaux.

On a divisé la classe des oiseaux en six ordres, d'après la structure du bec, des pieds, la conformation des ailes : 1° les rapaces ou oiseaux de proie ; 2° les passereaux ; 3° les grimpants ; 4° les gallinacés ; 5° les échassiers ; 6° les palmipèdes.

Les oiseaux de proie ont les tarses courts, trois doigts en avant et un en arrière, tous libres et armés d'ongles forts et crochus ; enfin le bec recourbé et très robuste : tels sont l'*aigle*, l'*autour*, etc.

Les *passereaux*, ou *oiseaux chanteurs*, ont aussi quatre doigts libres, trois en avant et un en arrière, les tarses faibles ou médiocres, le bas de la jambe emplumé et le bec variable pour la forme, mais sans être jamais crochu comme celui des rapaces. Le *merle*, le *moineau*, le *colibri*, etc., sont dans ce cas.

Les *grimpeurs* se reconnaissent très aisément à leurs doigts dirigés deux en avant et deux en arrière (le *pic*, le *perroquet*, le *toucan*, etc.).

Les *gallinacés*, ou *oiseaux de basse-cour*, ont trois doigts devant et un en arrière, tous armés d'ongles forts et obtus, le bec voûté supérieurement et à pointe émoussée, les narines en partie recouvertes par une écaille molle et renflée, le corps lourd et trapu, et le vol pesant et difficile (le *coq*, le *dindon*, la *perdrix*, etc.).

Ces quatre ordres ne renferment que des oiseaux terrestres ; les deux suivants sont aquatiques.

Les *échassiers*, ou *oiseaux de rivage*, ont les tarses généralement longs, les jambes dénuées de plumes à leur partie inférieure, et les doigts extérieur et médian garnis d'une petite membrane à leur base (l'*outarde*, le *héron*, etc.).

Les *palmipèdes*, ou *oiseaux aquatiques*, ont le plumage lisse et serré, les pattes placées à l'arrière du corps, les tarses courts, et les doigts réunis par des membranes larges (le *canard*, la *mouette*, l'*hirondelle-de-mer*).

Troisième classe. — Les reptiles.

La classe des *reptiles* se divise naturellement en quatre ordres : les *chéloniens* ou *tortues*, les *sauriens* ou *lézards*, les *ophidiens* ou *serpents*, et les *batraciens* ou *grenouilles*.

1° Les *chéloniens* ont le cœur à deux oreillettes, le corps enveloppé dans deux boucliers solides, les membres au nombre de quatre, les formes courtes et les mâchoires sans dents.

2° Les *sauriens* ont aussi le cœur à deux oreillettes; mais leurs formes sont toujours plus allongées et leurs mâchoires garnies de dents; leur corps est couvert d'écailles et sans boucliers, et leurs membres sont au nombre de quatre ou rarement de deux seulement.

3° Les *ophidiens* ont, comme les précédents, le cœur à deux oreillettes, les mâchoires garnies de dents, le corps allongé et presque toujours couvert d'écailles; mais ils manquent complétement de membres.

4° Les *batraciens* ont le cœur à une seule oreillette, le corps sans écailles et simplement enduit d'un liquide visqueux et gluant, les mâchoires tantôt garnies, tantôt dépourvues de dents, les membres le plus souvent au nombre de quatre, mais quelquefois de deux seulement.

L'ordre des *chéloniens* comprend trois principaux genres : les émydes, les chélonées et les tortues. On connaît plus de vingt espèces de ce dernier genre; deux existent sur tous les rivages de la Méditerranée : la tortue grecque et la tortue géométrique. Il y a aux Indes une espèce qui pèse jusqu'à 200 livres. On se sert de la chair des tortues pour composer un bouillon médicinal; leurs œufs, qu'ils placent dans le sable, peuvent être employés comme aliments.

L'ordre des sauriens ne formait jadis qu'un seul genre; on le divise maintenant en sept familles : les crocodiliens, les lacertiens ou lézards, les iguaniens, les geksotiens, les caméléoniens, les scincoïdiens et les paléosaures : ces derniers ne se trouvent plus qu'à l'état fossile.

L'ordre des ophidiens a été divisé par Cuvier en trois familles : 1° les anguis ou orvets; 2° les serpents vrais; 3° les serpents nus. La deuxième famille a été divisée en trois tribus : celle des doubles marcheurs, celle des serpents sans venin, les boas, les couleu-

vres, et celle des serpents venimeux, les serpents à sonnettes, les vipères. Les serpents venimeux sont pourvus d'une glande particulière, située de chaque côté de la tête, qui verse au-dehors le venin qu'elle sécrète par un conduit excréteur aboutissant à l'une des dents maxillaires de la mâchoire supérieure, dont la conformation est modifiée pour être en rapport avec les usages auxquels elle est destinée. Cette glande est placée sous les muscles temporaux, de manière à être comprimée par leur contraction, et cette dent, plus grande que les autres, est tantôt percée d'un canal, et tantôt creusée d'un sillon seulement; mais, dans l'un et l'autre cas, le conduit qu'elle présente est en communication avec le canal excréteur de la glande vénimeuse, et sert à verser le venin au fond de la plaie faite par la dent elle-même. Ce venin est un des poisons les plus violents. Il n'est ni âcre, ni brûlant, ne produit sur la langue qu'une sensation analogue à celle occasionnée par une matière grasse, et peut être avalé impunément; mais, introduit en quantité suffisante dans une plaie, il donne la mort avec une rapidité effrayante.

Son énergie varie suivant les espèces et suivant les circonstances dans lesquelles le serpent se trouve. La même espèce paraît être plus dangereuse dans les pays chauds que dans les pays froids ou tempérés.

L'*ordre des batraciens* n'est pas nombreux; il forme cependant trois familles bien distinctes : les *anoures*, qui respirent par des poumons, et qui manquent de queue comme les grenouilles; les *urodèles*, qui respirent également par des poumons, mais qui ont une queue comme les salamandres; et enfin les *pneumobranches*, qui ont une queue comme les urodèles, mais qui ont des poumons et des branchies en même temps, tels sont les protées et les sirènes.

Ce qui distingue surtout les batraciens de tous les autres vertébrés, ce sont les métamorphoses ou changements qu'ils éprouvent dans leur forme extérieure et dans leurs organes intérieurs durant les premiers temps de leur existence. Au moment où ils sortent de l'œuf, où ils ont pris naissance, ils respirent par des branchies; leur corps est piriforme, dépourvu de membres et terminé par une nageoire semblable à celle d'un poisson, et leurs habitudes sont exclusivement aquatiques; ils portent alors le nom de *têtards*. Mais peu à peu ces formes s'altèrent, les branchies disparaissent pour faire place à des poumons, et leur respiration devient aérienne. Quelquefois cependant le *batracien* conserve

ses branchies en même temps qu'il prend des poumons. Dans ce cas, l'animal a la respiration aquatique et la respiration aérienne en même temps.

On donne encore le nom d'*amphibiens* à cette classe de reptiles, qu'il ne faut pas confondre avec les amphibies qui forment une tribu de l'ordre des cétacés. (*Voyez* page 553.)

Quatrième classe. — Les poissons.

La classe des poissons se partage en deux séries principales, mais très différentes en nombre, d'après la nature du squelette : la plus petite est celle des *chondroptérygiens* ou *poissons cartilagineux*, qui n'ont pas de véritables os, mais de simples cartilages; la seconde est celle des *ostéoptérygiens* ou *poissons osseux*, poissons proprement dits qui sont pourvus d'arêtes osseuses. Chacune de ces séries se subdivise en ordres et en familles, d'après différents caractères tirés de la nature des branchies, de l'appareil qui les recouvre (opercule et membrane branchiostège), de la nature et de la position des nageoires, etc.

Première série. — Poissons cartilagineux.

Les poissons cartilagineux se partagent en deux ordres, selon qu'ils ont les branchies libres par leur bord externe, et ouvertes par une fente garnie d'un opercule, ou bien des branchies fixées de ce côté à la peau, et ouvertes par plusieurs trous percés dans cette peau. L'ordre des cartilagineux à branchies fixes comprend deux familles : les *suceurs* ou *cyclostomes* à bouche ronde au bout du museau, et les *sélaciens* ou *plagiostomes* à bouche transverse sous le museau. Les poissons cartilagineux à branchies libres ne comprennent qu'une famille, les *sturioniens*. Nous citerons comme genres principaux, parmi les suceurs, les *lamproies*; parmi les sélaciens, les *squales*, genre qui renferme les plus gros poissons connus; on leur donne ordinairement le nom de *chiens de mer*, de *requins*. Les *raies*, qui ont le corps plat et semblable à un disque, terminé par une queue grêle; la torpille, poisson célèbre par la propriété de donner à volonté une commotion électrique aux hommes et aux animaux qui la touchent; les sturioniens ne forment que deux genres, dont l'un est celui des *esturgeons*, poissons dont la forme générale est celle des

squales, mais dont le corps est plus ou moins garni d'écussons osseux, implantés sur la peau en rangées longitudinales.

Deuxième série. — Poissons osseux.

Les poissons osseux se partagent en six ordres, qui sont : les *plectognates*, les *lophobranches*, les *malacoptérygiens abdominaux*, les *malacoptérygiens subrachiens*, les *malacoptérygiens apodes*, et les *acanthoptérygiens*. Ceux du premier ordre, les plectognates, se rapprochent des chondroptérygiens par le durcissement tardif du squelette, et par leurs mâchoires incomplètes ; leur caractère consiste en ce que l'os maxillaire et l'arcade palatine sont soudés avec le crâne, et par conséquent incapables de mouvement. On en fait deux familles : 1° les gymnodontes à mâchoires garnies d'ivoire au lieu de dents, tels sont les genres *diodon*, *tétradon* et *môle*; 2° les *sclérodermes*, qui ont des dents, la bouche au bout du museau, et la peau généralement âpre, revêtue d'écailles dures ou de pièces osseuses; ils forment deux genres : les *balistes* et les *cofres*. Tous les poissons des ordres suivants ont des mâchoires complètes, où le maxillaire et l'arcade palatine jouissent chacun d'une mobilité distincte. L'ordre des lophobranches se distingue par ses branchies, qui, au lieu d'avoir la forme de dents de peigne, ont celle de petites houppes. Les trois ordres qui suivent renferment les poissons osseux malacoptérygiens, c'est-à-dire à rayons mous, que l'on subdivise, d'après la position des ventrales, en *abdominaux*, *subbrachiens* et *apodes*. Le premier ordre, celui des malacoptérygiens abdominaux, est le plus nombreux des trois ; il contient la plupart des poissons d'eau douce. On le subdivise en cinq familles ; la première est celle des *saumons* qui ont deux dorsales, l'une à rayons mous et l'autre adipeuse ; ce sont des poissons écailleux très voraces, qui remontent presque tous dans les rivières. Principaux genres : les *saumons* ou les *truites*, les éperlans, les ombres. La deuxième famille, celle des *harengs* ou des *clupes* diffère de la précédente en ce qu'elle n'a point de dorsale adipeuse : elle comprend un grand nombre de poissons de rivière et de poissons de mer, dont une partie remontent dans les fleuves vers le temps du frai. Principaux genres : les *harengs proprement dits*, auxquels se rapportent les sardines et les aloses. La troisième famille, celle des *ésoces*, renferme des poissons voraces, dont plusieurs remontent dans les eaux douces ; elle se

divise en trois genres : les *brochets*, qui sont connus de tout le monde ; les *exocets* ou *poissons volants*, dont les nageoires pectorales sont assez grandes pour les soutenir quelques moments en l'air lorsqu'ils s'élancent hors de l'eau ; les *mormyres* du Nil. La quatrième famille, celle des *cyprins*, se compose de poissons d'eau douce, qui se trouvent sous toutes les latitudes. Principaux genres : les *carpes*. La cinquième famille est celle des *siluroïdes*, poissons qui n'ont point d'écailles, mais une peau unie ou de grandes plaques osseuses ; presque tous vivent dans les rivières des pays chauds. Principaux genres : les *silures*. L'ordre des malacoptérygiens subbrachiens, renferme les genres à rayons mous, qui ont les ventrales adhérentes à l'appareil de l'épaule, c'est-à-dire qui les ont jugulaires ou thoraciques. Il se subdivise en trois familles : les *gades*, les *pleuronectes* et les *discoboles* : aux gates appartiennent la morue, le merlan, la lotte ; aux pleuronectes, vulgairement dits poissons plats, le carrelet, la limande, les soles ; aux discoboles les porte-écuelles.

L'ordre des malocoptérygiens apodes ne forme qu'une famille, celle des anguilliformes, poissons qui ont tous une forme allongée, comme le serpent ; à ce genre appartiennent les anguilles, les gymnotes dont une espèce est douée d'un appareil électrique si formidable qu'il peut renverser les chevaux.

Le dernier ordre des poissons, celui des acanthoptérygiens qui ont les rayons du dos épineux au moins en partie, est le plus nombreux de tous ; il a été divisé en huit familles : 1° les *tœniodes* comprenant les rubans, les sabres ; 2° les *gobioïdes*, exemple : blenni, boulereaux ; 3e les *labroïdes*, exemple : labres, scares ; 4o les *sparoïdes*, exemple : les sparres, les serrants ; 5° les *perches*, exemple : mulles, surmulets, rougets ; 6° les *scombéroïdes*, exemple : scombes, espadon ; 7° *squammipennes*, comprenant l'anabas qui peut garder de l'eau dans la cavité de ses branchies et qui peut sortir de l'eau et grimper sur les palmiers ; 8° les *bouches en flûte*, exemple : fistulaires etcentrisques.

DEUXIÈME EMBRANCHEMENT. — MOLLUSQUES. (*Voy. page* 548).

On a divisé les mollusques en cinq classes :

1° Les *céphalopodes* se reconnaissent en ce qu'ils ont une tête distincte, la bouche entourée de tentacules ou bras au nombre de huit ou dix, et la coquille symétrique, quand elle existe (le *poulpe*, la *seiche*).

2° Les *ptéropodes* ont aussi une tête distincte; mais au lieu de tentacules, ils ont des espèces de nageoires placées, comme des ailes, de chaque côté de la bouche; leur coquille, quand ils en ont, est très frêle et très délicate (les *hyales*).

3° Les *gastéropodes* ont encore la tête bien distincte, mais ils n'ont ni ailes ni tentacules comme les précédents, et ils rampent sur un disque charnu ou pied placé à la partie inférieure de leur corps; leur coquille est toujours univalve et plus ou moins contournée en spirale (la *limace*, le *colimaçon*, le *buccin*).

4° Les *acéphales* manquent de tête, ainsi que l'indique leur nom; leur bouche est cachée au fond de leur *manteau*, dans lequel on trouve aussi les principaux viscères de l'animal (l'*huître*, la *moule*).

5° Enfin les *cirrhopodes* ressemblent aux acéphales par le défaut de tête et par la disposition de leur manteau; mais ils en diffèrent en ce qu'ils ont des espèces de membres cornés et articulés, avec un système nerveux analogue à celui des animaux de l'embranchement suivant (les *anatifes*).

TROISIÈME EMBRANCHEMENT. — ARTICULÉS. (*Voy. page* 549.)

On divise les animaux articulés en quatre grandes classes : les annélides, les crustacés, les arachnides et les insectes.

Les *annélides*, ou vers à sang rouge, constituent la première; leur sang, généralement coloré en rouge comme celui des animaux vertébrés, circule dans un système double et clos d'artères et de veines, qui a quelquefois un ou plusieurs cœurs ou ventricules charnus assez marqués; ils respirent dans des organes qui tantôt se développent au dehors tantôt restent à la surface de la peau ou s'enfoncent dans son intérieur. Leur corps, plus ou moins allongé, est toujours divisé en anneaux nombreux, dont le premier, qui se nomme tête, est à peine différent des autres, si ce n'est par la présence de la bouche et des principaux organes des sens. Plusieurs ont leurs branchies uniformément répandues sur la longueur de leur corps ou sur son milieu; d'autres, et ce sont en général ceux qui habitent des tuyaux, les ont toutes à la partie antérieure. Jamais ces animaux n'ont de pieds articulés; mais le plus grand nombre porte au lieu de pieds des soies ou des faisceaux de soies roides et mobiles. Ils sont généralement hermaphrodites et quelques uns ont besoin d'un accouplement réciproque. Leurs organes de la bouche consitent, tantôt en

mâchoires plus ou moins fortes, tantôt en un simple tube; ceux des sens extérieurs en tentacules charnus et quelquefois articulés, et en quelques points noirâtres, que l'on regarde comme des yeux, mais qui n'existent pas dans toutes les espèces.

Les *crustacés* constituent la seconde forme ou classe des animaux articulés. Ils ont des membres articulés et plus ou moins compliqués, attachés aux côtés du corps. Leur sang est blanc et circule par le moyen d'un ventricule charnu placé dans le dos, qui le reçoit des branchies situées sur les côtés du corps, ou sa partie postérieure, et où il retourne par un canal ventral quelquefois double. Dans les dernières espèces, le cœur ou ventricule dorsal s'allonge lui-même en canal. Ces animaux ont tous des antennes ou filaments articulés, attachés au-devant de la tête, presque toujours au nombre de quatre, plusieurs mâchoires transversales et deux yeux composés. C'est dans quelques unes de leurs espèces seulement que l'on trouve une oreille distincte.

La troisième classe des animaux articulés est celle des *arachnides*, qui ont, comme un grand nombre de crustacés, la tête et le thorax réunis en une seule pièce, portant de chaque côté des membres articulés, mais dont les principaux viscères sont renfermés dans un abdomen attaché en arrière de ce thorax; leur bouche est armée de mâchoires, et leur tête porte des yeux simples en nombre variable, mais ils n'ont jamais d'antennes. Leur circulation se fait par un vaisseau dorsal qui envoie des branches artérielles et en reçoit de veineuses; mais leur respiration varie, les uns ayant encore de vrais organes pulmonaires qui s'ouvrent aux côtés de l'abdomen, les autres recevant l'air par les trachées comme les insectes. Les uns et les autres ont cependant des ouvertures latérales, de vrais stygmates.

Les *insectes* sont la quatrième classe des animaux articulés, et en même temps la plus nombreuse de tout le règne animal. Excepté quelques genres (les myriapodes) dont le corps se divise en un assez grand nombre d'articles à peu près égaux, ils l'ont partagé en trois parties : la tête qui porte les antennes, les yeux et la bouche; le thorax ou corselet qui porte les pieds et les ailes, quand il y en a; et l'abdomen qui est suspendu en arrière du thorax et renferme les principaux viscères. Les insectes qui ont des ailes ne les reçoivent qu'à un certain âge, et passent souvent par deux formes plus ou moins différentes avant de prendre celle d'insecte ailé. Dans tous leurs

états ils respirent par des trachées, c'est-à-dire par des vaisseaux élastiques qui reçoivent l'air par des stygmates percés sur les côtés et le distribuent en se ramifiant à l'infini dans tous les points du corps. On n'aperçoit qu'un vestige de cœur, qui est un vaisseau attaché le long du dos, et éprouvant des contractions alternatives, mais auquel on n'a pu découvrir de branches; en sorte que l'on doit croire que la nutrition des parties se fait par imbibition. C'est probablement cette sorte de nutrition qui a nécessité l'espèce de respiration propre aux insectes, parce que le fluide nourricier qui n'était point contenu dans des vaisseaux, ne pouvant être dirigé vers des organes pulmonaires circonscrits pour y chercher l'air, il a fallu que l'air se répandît par tout le corps pour y atteindre le fluide. C'est aussi pourquoi les insectes n'ont point de glandes sécrétoires, mais seulement de longs vaisseaux spongieux qui paraissent absorber, par leur grande surface dans la masse du fluide nourricier, les sucs propres qu'ils doivent produire.

Les insectes varient à l'infini par les formes de leurs organes, de la bouche et de la digestion, ainsi que par leur industrie et leur manière de vivre; leurs sexes sont toujours séparés.

Les crustacés et les arachnides ont été long-temps réunis avec les insectes sous un nom commun, et leur ressemblent à beaucoup d'égards pour la forme extérieure et pour la disposition des organes du mouvement, des sensations et même de la manducation.

Première classe. — *Annélides.*

La classification des *annélides* est fondée sur la présence ou l'absence des branchies, des soies et du tube calcaire dans lequel leur corps se trouve renfermé. D'après cela, on divise ces animaux en trois ordres ou familles : les *tubicoles*, les *dorsibranches* et les *abranches*.

1° Les *tubicoles* habitent un tube tantôt calcaire, tantôt simplement membraneux, ont leurs branchies sur la partie antérieure du corps et leurs soies locomotrices un peu derrière ces organes. Ils sont tous sédentaires.

2° Les *dorsibranches* ont le corps nu, les branchies sur le dos ou sur les côtés, et leurs soies disposées parfois tout le long du corps. Ils errent librement dans le sein des eaux.

3° Les *abranches* n'ont pas de branchies apparentes et leurs

soies sont très courtes et souvent nulles. Ils se tiennent dans la vase et se meuvent par les ondulations de leur corps.

Parmi les annélides les plus intéressants sont le lombric ou ver de terre et les sangsues.

Deuxième classe. — Crustacés.

On divise les *crustacés* en trois ordres.

1° Les uns ont le test dur et calcaire, de dix à quatorze pieds, articulés et ambulatoires, deux yeux bien distincts et supportés par un pédicule mobile ; ce sont les *écrevisses*, les *crabes*.

2° Les autres ont le test et les pieds des précédents ; mais leurs yeux, qui sont aussi parfaitement distincts, sont *sessiles*, c'est-à-dire placés à fleur de tête ; on les appelle *hédriophthalmes*, mot grec qui veut dire *yeux sessiles* (les *crevettes*, les *cloportes*).

3° Les autres enfin ont le test généralement mince et corné, les pattes natatoires et aplaties à leur extrémité, et le plus souvent un seul œil ; ou, quand ils en ont deux, ils ont plus de vingt pattes ; ce sont les *entomostracés*, animaux bizarres ou microscopiques.

Troisième classe. — Arachnides.

On divise les *arachnides* en deux ordres.

1° Les *pulmonaires* qui ont des poumons, un cœur et des vaisseaux ; leurs yeux sont lisses et au nombre de six ou huit ; cet ordre comprend les mycales, les araignées, les lycoses et les tarentules.

2° Les *trachéennes* manquent d'organes pour la circulation et ont des trachées qui s'ouvrent sur les côtés de l'abdomen par des stygmates ; elles n'ont que quatre yeux lisses ; ces espèces comprennent les faucheurs, les acarus, le ciron, etc.

Quatrième classe. — Insectes.

La classe des *insectes* est la plus nombreuse du règne animal. Latreille la divise en douze ordres.

Le premier ordre, les *myriapodes*, a plus de six pieds (vingt-quatre et au-delà), disposés dans toute la longueur du corps, sur une suite d'anneaux qui en portent chacun une ou deux paires, dont la première, et même, dans plusieurs, la seconde, semblent faire

partie de la bouche; ils sont aptères. Cet ordre comprend les scatigères et les scolopendres. Quelques auteurs en font une classe à part des insectes.

Le second ordre, les *thysanoures*, a six pieds, et l'abdomen garni sur les côtés de pièces mobiles en forme de fausses pattes, ou terminé par des appendices propres pour le saut. On trouve dans cet ordre les podures et les lépismes.

Le troisième ordre, les *parasites*, a six pieds, manque d'ailes, n'offre pour organe de la vue que des yeux lisses; leur bouche est, en grande partie, intérieure, et ne consiste que dans un museau renfermant un suçoir rétractile, et dans une fente située entre deux lèvres avec des mandibules en crochet. Le pou et le ricin se trouvent dans cette famille.

Le quatrième ordre, les *suceurs*, a six pieds, manque d'ailes; leur bouche est composée d'un suçoir renfermé dans une gaîne cylindrique de deux pièces articulées. Exemple : la puce.

Le cinquième ordre, les *coléoptères*, a six pieds; quatre ailes, dont les deux supérieures en forme d'étui; des mandibules et des mâchoires pour la mastication; les ailes inférieures pliées simplement en travers, et les étuis crustacés (toujours horizontaux); ils subissent une métamorphose complète. Cet ordre est des plus importants; il se divise en un grand nombre de sections et de tribus. Les insectes les plus connus de cet ordre sont : les hannetons, les lucanes ou cerfs-volants, les cantharides, les charançons, les coccinelles.

Le sixième ordre, les orthoptères, a six pieds; quatre ailes, dont les deux supérieures en forme d'étui; des mandibules et des mâchoires pour la mastication (recouvertes à leur extrémité par une galète); les ailes inférieures, pliées en deux sens, ou simplement dans leur longueur, et les étuis ordinairement coriaces, le plus souvent croisés au bord interne; ils ne subissent que des demi-métamorphoses. Cet ordre comprend le perce-oreille, le grillon, la sauterelle, le criquet.

Le septième ordre, les *hémiptères*, a six pieds; quatre ailes, dont les deux supérieures en forme d'étui crustacé, avec l'extrémité membraneuse, ou semblables aux inférieures, mais plus grandes et plus fortes; les mandibules et les mâchoires remplacées par des scies formant un suçoir renfermé dans une gaîne d'une seule pièce, articulée, cylindrique ou conique, en forme de bec. On trouve dans cet ordre les punaises, les cochenilles, etc.

Le huitième ordre, les *névroptères*, a six pieds; quatre ailes

membraneuses et nues; des mandibules et des mâchoires pour la mastication; leurs ailes sont finement réticulées, et les inférieures sont ordinairement de la grandeur des supérieures, ou plus étendues dans un de leurs diamètres. Ex.: fourmillon, éphémère.

Le neuvième ordre, les *hyménoptères*, a six pieds; quatre ailes membraneuses et nues; des mandibules et des mâchoires pour la mastication; les ailes inférieures plus petites que les supérieures; l'abdomen des femelles presque toujours terminé par une tarière ou par un aiguillon. Cet ordre important et nombreux comprend les cynips, les fourmis, les guêpes, les abeilles.

Le dixième ordre, les *lépidoptères*, a six pieds; quatre ailes membraneuses, couvertes de petites écailles colorées, semblables à une poussière; une pièce cornée, en forme d'épaulette, rejetée en arrière, insérée au devant de chaque aile supérieure; les mâchoires remplacées par deux filets tubulaires, réunis et composant une espèce de langue roulée en spirale sur elle-même. Cet ordre comprend les papillons.

Le onzième ordre, les *rhipiptères*, a six pieds; deux ailes membraneuses et plissées en éventail; deux corps crustacés, mobiles, en forme de petits élytres, situés à l'extrémité antérieure du thorax; et pour organes de la manducation, simples mâchoires, en forme de soies, avec deux pulpes. Ordre très court formé du genre ténos et stylop.

Le douzième ordre, les *diptères*, a six pieds; deux ailes membraneuses étendues, accompagnées, dans presque tous, de deux corps mobiles, en forme de balanciers, situés en arrière d'elles; et pour organes de la manducation un suçoir d'un nombre variable de soies, renfermées dans une gaîne articulée le plus souvent sous la forme d'une trompe, terminée par deux lèvres. Cet ordre, extrêmement nombreux, comprend les cousins, les mouches, les taons, etc.

QUATRIÈME EMBRANCHEMENT.— ZOOPHYTES. (*Voyez page* 550.)

On divise les zoophytes en cinq classes, d'après le plus ou moins de complication de leur organisation; ce sont les *échinodermes*, les *entozoaires*, les *acalèphes*, les *polypes* et les *microzoaires* ou *infusoires*.

1° Les *échinodermes* se reconnaissent à leur forme rayonnée,

à leur peau solide et généralement garnie d'épines, à leur canal intestinal presque toujours pourvu de deux ouvertures, et à la présence d'organes pour la respiration et la circulation. Exemple : les astéries.

2° Les *entozoaires* ont le corps allongé comme les vers, sans rayons bien marqués, excepté à la bouche, et un canal digestif à deux orifices, comme les précédents; mais ils manquent d'organes distincts pour la circulation et la respiration. Exemple : les ascarides, les tenias.

3° Les *acalèphes* manquent, comme les entozoaires, d'organes circulatoires et respiratoires ; mais leur forme rayonnée et leur cavité digestive à un seul orifice, jointes au peu de solidité de leur peau, suffisent abondamment pour les distinguer des animaux des deux classes précédentes. Exemple : les méduses, les physalies.

4° Les *polypes* sont de petits zoophytes remarquables par la mollesse de tous leurs organes et par les bras ou tentacules qui entourent leur bouche. Exemple : les actinies, les hydres, les corallines, les coraux, les madrépores.

5° Enfin les *infusoires* sont tous ces êtres microscopiques qui vivent en quantités innombrables dans les eaux dormantes, et dont la plupart ne montrent aucun organe bien distinct pour l'accomplissement de leurs différentes fonctions. Exemple : les vibrions, les monades.

DIXIÈME PARTIE.

BOTANIQUE.

ANATOMIE ET PHYSIOLOGIE VÉGÉTALES.

1° *Qu'est-ce que le* VÉGÉTAL? *Qu'a-t-il de commun avec l'*ANIMAL *et le* MINÉRAL? *En quoi diffère-t-il de l'un et de l'autre?*

INTRODUCTION.

On donne le nom de plante ou de végétal (*vegetabile*, *planta*), et dans les composés grecs *phytos*, *botané*, *botanos*, à un être organisé et vivant dépourvu de sentiment et de mouvement volontaire. Nous avons indiqué, dans l'introduction à l'Histoire naturelle, les caractères communs et différentiels avec l'animal et le minéral (*voyez* page 505).

La *botanique* est l'histoire naturelle du règne végétal. Cette étude est si vaste qu'elle a besoin d'être divisée en plusieurs branches. Les végétaux doivent d'abord être étudiés par le naturaliste *en tant qu'êtres distincts les uns des autres*, qu'il s'agit de reconnaître, de décrire et de classer; cette branche de la science retient le nom de botanique proprement dite.

Elle se compose 1° de la *glossologie* ou de la connaissance des termes par lesquels on désigne les organes des plantes; 2° de la *taxonomie*, ou de la théorie des classifications appliquée au règne végétal; 3° de la *phytographie*, ou de l'art de décrire les plantes.

Les végétaux peuvent encore être étudiés, *en tant qu'êtres organisés et vivants*. Cette étude porte le nom de *physique végétale*. Elle comprend 1° l'étude de la structure des organes des

plantes, qu'on nomme anatomie végétale, ou l'*organographie ;* 2° l'étude du jeu ou des fonctions de ces mêmes organes, considérés dans leur état de santé, ou la *physiologie végétale ;* 3° l'examen des dérangements qui peuvent survenir dans les fonctions des plantes, ou, en d'autres termes, la *pathologie végétale ;* 4° l'examen des causes physiques qui, modifiées par la nature particulière des êtres, déterminent chacun d'eux à vivre dans un lieu déterminé, ou la *géographie botanique.*

A ces deux parties, qui constituent réellement toute la théorie de la science, on doit en joindre une troisième, savoir : l'étude des rapports qui existent entre les végétaux et l'espèce humaine, ou la *botanique appliquée ;* elle comprend 1° la *botanique agricole ;* 2° la *botanique médicale ;* 3° la *botanique économique* et *industrielle ;* 4° la *botanique historique*, etc.

2° NOMMER, DÉFINIR, DÉCRIRE, SELON L'ORDRE DE LEUR APPARITION, LES ORGANES SIMPLES OU COMPOSÉS DE LA VÉGÉTATION ET DE LA REPRODUCTION.

La méthode la plus naturelle à suivre pour l'étude de cette partie de la botanique est, sans contredit, celle qui consiste à traiter les organes d'après l'ordre de leur développement. Aussi est-ce celle que nous nous proposons de suivre.

Lorsque l'on met une graine dans les circonstances convenables à la germination, on voit que, dans la plupart des cas, la partie de l'embryon qui se développe la première est la radicule, puis la tigelle s'allonge pour élever hors de terre les premières feuilles. On voit donc que c'est la racine qui commence par se développer, puis la tige, puis les feuilles. Ces trois organes, ainsi que beaucoup d'autres dont nous parlerons en même temps, composent tout le système végétatif de la plante.

Puis, arrive une deuxième période où des organes nouveaux se développent : ce sont ceux de la reproduction ; nous y reviendrons plus tard.

Nous allons donc commencer par traiter des organes de la végétation ou de la nutrition.

SECTION PREMIÈRE.

ORGANES DE LA NUTRITION OU DE LA VÉGÉTATION.

Les organes de la végétation sont ceux auxquels la nature a confié le soin de la conservation du végétal; tels sont les racines, les tiges, les bourgeons, les feuilles, les stipules et quelques uns de ces organes dégénérés, tels que les épines, les aiguillons, les vrilles.

DE LA RACINE.

La racine est cette partie d'un végétal, qui, occupant son extrémité inférieure, et cachée le plus souvent dans la terre, croît constamment en sens inverse de la tige; en effet, pendant que la racine tend à s'enfoncer perpendiculairement dans la terre, la tige s'élève toujours vers le ciel. A ce caractère, on peut en joindre un autre qui peut servir à la distinguer, c'est que, exposée à l'action de l'air, elle ne prend jamais une couleur verte, tandis que les autres parties des végétaux y prennent cette couleur.

Toutes les plantes sont munies de racines; il faut en excepter cependant quelques *conferves* et *tremelles*, qui végètent à la surface de l'eau et absorbent les sucs nourriciers par tous les points de leur étendue.

Les racines sont le plus souvent implantées dans la terre et servent à fixer les végétaux au sol, et à y puiser une partie de leurs principes nutritifs. Il est pourtant plusieurs plantes aquatiques qui présentent des racines flottantes au milieu de l'eau, et qui, par conséquent, ne servent en rien à les fixer au sol : certaines *lentilles d'eau* sont dans ce cas. Quelques plantes offrent deux espèces de racines : les unes enfoncées dans la vase et qui les fixent; les autres libres et flottantes au milieu de l'eau. Exemple: *trèfle d'eau*, *nénuphar;* d'autres plantes végétant sur les rochers y implantent leurs racines : tels sont les *lichens*.

Dans quelques végétaux (clusia rosea, maïs, etc.), outre les racines qui les terminent inférieurement, il s'en forme d'autres d'un point plus ou moins élevé de la tige et qui se dirigent vers

la terre pour s'y enfoncer; on leur a donné le nom de racines *aériennes* ou *adventives*.

Afin de ne point confondre la racine avec certains autres organes, on ne doit considérer comme de véritables racines que celles qui, dans la terre, représentent, par leurs fonctions et leur position, les feuilles naissant sur les dernières ramifications de la tige. Ainsi, selon M. Richard, les corps qui méritent le mieux le nom de racines sont les fibres que l'on nomme le *chevelu*.

Les racines peuvent être produites par différentes parties des végétaux, en général ceux qui concourent à la nutrition; en effet, que l'on enfonce en terre une branche de saule ou de peuplier, au bout de quelque temps son extrémité inférieure sera chargée de radicules, qui proviennent soit de la tige, soit des bourgeons des feuilles, qui, en raison du milieu où elles se développent, prennent les caractères des racines. Ces racines peuvent être appelées *accidentelles*.

Les racines offrent à considérer trois parties : 1° le *corps* ou partie moyenne, de forme et de consistance variée, c'est la plus volumineuse; 2° le *collet* ou *nœud vital*, c'est le point ou la ligne de démarcation qui sépare la racine de la tige, c'est pour quelques botanistes la partie la plus essentielle; 3° les *radicelles* ou le *chevelu*, formées par les ramifications plus ou moins déliées qui terminent la racine.

On peut reconnaître, d'après leur durée, des racines *annuelles*, *bisannuelles*, *vivaces* et *ligneuses*.

Les racines *annuelles* appartiennent aux plantes qui, dans l'espace d'une année, naissent, fructifient et meurent; tels sont le blé, le coquelicot (papaver, rhœas), etc.

Les racines *bisannuelles*, sont celles des plantes qui exigent deux années pour se développer entièrement (daucus carota).

Par racines *vivaces*, on entend celles qui, durant un nombre indéterminé d'années, poussent des tiges ligneuses ou herbacées qui se développent et meurent tous les ans (1).

Enfin, les racines *ligneuses* diffèrent des précédentes par une consistance plus solide, leur tissu ligneux et la persistance de la tige qu'elles supportent.

Par rapport à leur forme et à leur structure les racines sont :

(1) Cette division est sujette à varier sous l'influence du climat et de la culture.

Pivotantes, quand elles s'enfoncent perpendiculairement en terre (rave, carotte, etc.). Ces racines sont particulières aux plantes dicotylédones.

Fibreuses, quand elles se composent de beaucoup de fibres simples ou rameuses (palmiers, etc.); elles sont particulières aux monocotylédones.

Tubérifères, lorsqu'elles présentent, sur différents points de leur étendue, des tubercules ou corps charnus qui ne sont que des amas de fécule amylacée, réservée pour servir de nourriture au végétal (topinambour, pommes de terre, etc.); elles appartiennent exclusivement aux plantes vivaces.

Bulbifères, quand elles sont formées par un tubercule mince et aplati, nommé *plateau*. A la partie inférieure de ce plateau naît une racine fibreuse, tandis que la partie supérieure supporte un bourgeon de nature particulière, formé de beaucoup d'écailles ou de tuniques appliquées les unes sur les autres. C'est ce bourgeon qu'on appelle *bulbe* ou *oignon*.

Nous ne parlerons de l'organisation de la racine qu'en traitant de celle de la tige, car elle est la même. Quant à ses usages, on sait que plusieurs sont employées à la nourriture de l'homme et des animaux, que d'autres servent en teinture et que beaucoup sont employées en médecine.

DE LA TIGE.

La tige est cette partie de la plante qui, diamétralement opposée dans sa direction à la racine, part du collet, et sert de support aux feuilles, aux fleurs et aux fruits.

Quelquefois elle est si peu développée dans certains végétaux qu'elle semble ne pas exister. Les plantes qui offrent cette disposition sont appelées *acaules* ou *sessiles* (primevère, jacinthe, etc.). On doit éviter de confondre, avec la tige proprement dite, la *hampe* qui, partant du collet de la racine, n'est jamais garnie de feuilles, et sert à porter les fleurs; et le *pédoncule radical*, qui ne diffère de la hampe que parce qu'il naît de l'aisselle d'une feuille radicale, et non du centre d'un assemblage de ces feuilles.

D'après l'organisation et la manière dont se développent les tiges, on en distingue cinq espèces :

1° Le *tronc*, tige conique, allongée, s'élevant verticalement, offrant sa plus grande épaisseur à sa base; ou à la partie inférieure, il est terminé à son sommet par des divisions qui vont en diminuant et que l'on appelle branches, rameaux et ramilles. Ce sont eux qui portent les feuilles et les fleurs. Le tronc est particulier à toutes les dicotylédones (chêne, sapin).

2° Le *stipe*, cette tige que l'on observe particulièrement dans les monocotylédones (palmiers, yucca), est cylindrique, d'un diamètre égal à sa partie inférieure, souvent même plus renflée à sa partie moyenne qu'à ses deux extrémités; elle est rarement ramifiée, et se termine à son sommet par un bouquet de feuilles entremêlées de fleurs.

3° Le *chaume*, tige cylindrique, ordinairement fistuleuse, rarement ramifiée et séparée de distance en distance par des espèces de nœuds ou cloisons, desquels partent les feuilles qui sont alternes et engaînantes.

4° La *souche* ou *rhizome*, tige souterraine, horizontale, cachée en tout ou en partie sous le sol, donnant par son extrémité antérieure de nouvelles tiges, à mesure que son extrémité postérieure se détruit, et offrant toujours, sur quelques points de sa surface, les traces des feuilles des années précédentes (iris, sceau de Salomon). On la désignait autrefois, mais à tort, sous les noms de *racine progressive*, *racine succise*.

5° La *tige* proprement dite est celle que l'on ne peut rapporter à aucune des espèces précédentes, et que l'on rencontre le plus fréquemment.

D'après sa consistance la tige peut être distinguée en :

Herbacée, celle qui est molle, verte et qui périt chaque année. Telles sont les plantes que l'on appelle *herbes* (mouron, bourrache).

Demi-ligneuse ou *sous-ligneuse*, quand sa base est dure et vit plusieurs années, tandis que ses rameaux se renouvellent tous les ans (ruta graveolens, thymus vulgaris). On nomme encore *sous-arbrisseaux* les végétaux qui offrent une semblable tige; ils n'offrent pas de bourgeons écailleux.

Ligneuse, quand la tige offre la dureté du bois, et qu'elle persiste indéfiniment. Les végétaux à tige ligneuse sont nommés *arbustes* quand, dépourvus de bourgeons écailleux, ils se ramifient dès leur base (bruyères); *arbrisseaux*, s'ils sont pourvus de bourgeons, quoique ramifiés dès leur base (lilas); *arbres*,

quand la tige, simple en bas et ramifiée au sommet, offre également des bourgeons (chêne, orme, pin, etc.). Remarquons que ces diverses modifications peuvent varier avec le climat et la culture.

La tige peut offrir différentes directions; ainsi elle peut être verticale, flexueuse, grimpante, rampante, volubile, etc. Quand une tige est volubile, c'est-à-dire quand elle se roule en spirale autour des corps voisins, il y a cela de remarquable que les spires se font toujours dans un sens déterminé. Ainsi le *houblon*, le *chèvrefeuille*, se dirigent de gauche à droite; au contraire, le *liseron*, le *haricot*, roulent leur spirale de droite à gauche. La première direction est appelée *dextrorsum volubilis*, et la deuxième *sinistrorsum volubilis*.

STRUCTURE ANATOMIQUE DES TIGES.

La structure de la tige varie, suivant qu'on l'examine dans les végétaux monocotylédones ou dicotylédones. Quant à celle des acotylédones, étant formée, comme tous les autres organes de cette classe, de tissu cellulaire, elle n'offre rien de particulier dans son organisation. Nous étudierons donc à part la tige des deux premières divisions.

ORGANISATION DE LA TIGE DES DICOTYLÉDONES.

Quand on coupe transversalement le tronc d'un arbre dicotylédone, on peut voir qu'il est formé, en procédant de la circonférence au centre, des parties suivantes : 1° l'*épiderme;* 2° l'*enveloppe herbacée;* 3° les *couches corticales;* 4° le *liber;* 5° l'*aubier;* 6° le *bois;* 7° l'*étui médullaire;* 8° la *moelle.*

DE L'ÉPIDERME.

L'*épiderme*, ou *cuticule*, est sous forme de membrane mince, transparente, incolore, composée de cellules extrêmement variables et présentant un grand nombre d'ouvertures ou pores. Il enveloppe toutes les parties du végétal et peut souvent être isolé du tissu qu'il recouvre. Il jouit d'un certain degré d'extensibilité, passé lequel il se déchire, et se fendille, comme on le voit dans l'orme, le chêne; quelquefois il tombe par plaques comme dans

le platane, etc. Si on l'enlève de dessus une jeune branche, il se régénère facilement. C'est la partie du végétal qui résiste le mieux à la décomposition.

L'épiderme est, suivant quelques auteurs, une membrane distincte. M. Mirbel et d'autres le considèrent comme formé par la paroi externe des cellules sous-jacentes, appartenant à l'enveloppe herbacée, laquelle paroi a été endurcie par l'action de l'air et de la lumière. Cependant récemment MM. Amici et Brongniart ont publié des observations en faveur de la première opinion, celle qui la fait considérer comme distincte. Quant aux pores dont nous avons parlé, et que l'on désigne sous le nom de *stomates*, *pores corticaux*, etc., ce sont de très petites ouvertures, répandues en grand nombre dans l'épaisseur de l'épiderme, s'ouvrant à l'extérieur par une fente ovalaire, bordée d'une sorte de bourrelet et communiquant à l'intérieur avec des espaces vides remplis d'air, et qui résultent de l'arrangement des cellules et des tubes entre eux.

DE L'ENVELOPPE HERBACÉE.

L'*enveloppe herbacée* (médulle externe, Dutrochet) est une couche de tissu cellulaire qui, ordinairement verte dans les jeunes tiges, recouvre le tronc, les branches et leur divisions, et remplit les espaces qui existent entre les ramifications des nervures des feuilles. Sa couleur est due aux petits grains de globuline placés dans les parois des cellules. C'est dans l'enveloppe herbacée que se trouvent renfermés les vaisseaux propres; c'est aussi dans son tissu que s'opère la décomposition de l'acide carbonique que la plante absorbe dans l'air. L'enveloppe herbacée, qui paraît avoir des usages analogues à ceux de la moelle, prend un accroissement très considérable dans le *quercus suber*, et des propriétés physiques que l'on connaît dans le *liége*.

DES COUCHES CORTICALES.

Les couches corticales placées entre l'enveloppe herbacée et le liber, dont on le sépare quelquefois bien difficilement, sont formées de plusieurs réseaux de cellules allongées et superposées les unes sur les autres; elles ressemblent assez bien à une toile tissue, ainsi qu'on peut le voir dans le *bois dentelle*, qui offre cette disposition d'une manière remarquable.

DU LIBER.

Placé immédiatement au-dessous des couches corticales, le *liber* est un enveloppe formée par une plexus de cellules allongées dont les intervalles sont remplis de tissu cellulaire. On peut très bien séparer le liber en feuillets distincts en employant la macération. Beaucoup de phénomènes prouvent que le liber est indispensable à la végétation. On sait, en effet, qu'une greffe ne prendra qu'autant que le liber de l'arbre et celui de la greffe seront en contact : quand le liber a été enlevé il ne se régénère qu'autant qu'il sera à l'abri de l'air.

L'épiderme, l'enveloppe herbacée, les couches corticales et le liber forment cette partie qu'on appelle l'*écorce*.

DE L'AUBIER.

L'*aubier* ou *faux bois* est placé entre le liber et le bois proprement dit; quoique n'ayant ni la dureté, ni la ténacité de ce dernier, il offre cependant la même structure. Son tissu est formé de fibres bien plus faibles et bien plus écartées. On le distingue du bois par sa couleur qui diffère quelquefois considérablement; ainsi dans 'ébène le bois proprement dit est noir, tandis que l'aubier est blanc. Il est, selon M. Mirbel, totalement privé de vaisseaux.

DU BOIS PROPREMENT DIT.

Le *bois*, situé entre l'aubier et l'étui médullaire, est la partie la plus dure du tronc, surtout dans ses couches intérieures. Il est composé de couches concentriques auxquelles chaque année il s'en ajoute une nouvelle, formée aux dépens de la couche la plus interne de l'aubier; en sorte que le nombre de ces couches peut dévoiler l'âge de l'arbre. Le bois ne présente jamais de véritables trachées, mais on y trouve des vaisseaux poreux et de fausses trachées, tantôt disposés sans ordre, tantôt réunis en faisceaux et qui servent à la circulation de la sève.

DE L'ÉTUI MÉDULLAIRE.

L'*étui médullaire*, qui occupe le centre de la tige et tapisse la couche la plus interne du bois, contient dans son intérieur la moelle, et constitue ce que l'on nomme le *canal médullaire*. Ses parois sont composées de vaisseaux très longs qui sont des trachées, des fausses trachées et des vaisseaux poreux marchant parallèlement tout le long du tronc; sa forme varie quelquefois. Ainsi, tantôt il est cylindrique, tantôt triangulaire ou quadrangulaire, etc., ce qui paraît dépendre de la disposition des feuilles sur la tige ; une fois formé, sa forme et sa dimension ne changent plus.

DE LA MOELLE.

La moelle (médulle interne) est une substance spongieuse, diaphane, légère, formée par un tissu cellulaire lâche, et dans son plus grand état de simplicité. Les cellules ont généralement une figure très régulière, communiquant les unes avec les autres ; elles communiquent aussi avec l'enveloppe herbacée au moyen de prolongements transversaux qu'on nomme *insertions* ou *prolongements médullaires*, et qui partant du centre se dirigent en rayonnant vers la circonférence. Plusieurs botanistes regardent la moelle comme très utile à la végétation ; d'autres, au contraire, la considèrent comme un corps inerte.

ORGANISATION DE LA TIGE DES MONOCOTYLÉDONES.

La structure de la tige des monocotylédones diffère essentiellement de celle des dicotylédones. En général, plus simple, plus élancée que la tige précédente, elle n'offre pas dans sa coupe transversale des couches concentriques régulièrement disposées comme on le remarque dans le tronc. Toutes ces parties sont confondues; la moelle remplit toute l'épaisseur de la tige ; le bois, divisé en filets nombreux, tantôt épars, tantôt en faisceaux, qui, dispersés longitudinalement au milieu de la moelle, sont comme les dicotylédones accompagnés de trachées, de fausses trachées et de vaisseaux poreux. L'écorce, qui n'existe pas toujours, est si peu distincte des autres parties, qu'on pourrait croire qu'elle n'existe pas. Un autre caractère essentiel, qui distingue bien cette tige des précédentes, c'est que dans celles des

monocotylédones les couches les plus dures sont à la circonférence, tandis qu'au contraire, dans les dicotylédones, les parties les plus dures sont à l'intérieur. Du reste, ces sortes de tiges sont très rarement divisées à leur sommet.

ORGANISATION DE LA RACINE.

La racine offre tout-à-fait la même organisation que la tige, surtout dans les monocotylédones. Dans les dicotylédones, on a pensé qu'elle en différait par l'absence du canal médullaire et des trachées. Mais si on fend la racine d'un jeune arbre, celle d'un marronnier d'Inde, il est alors facile de distinguer le canal médullaire; seulement peu à peu il s'oblitère au point qu'à un certain âge il finit par disparaître. Quant aux trachées, MM. Linck et Tréviranus, récemment encore M. Amici, sont parvenus à découvrir ces vaisseaux dans les racines de plusieurs plantes.

ACCROISSEMENT DES TIGES.

Tous les végétaux se développent en deux sens, en hauteur et en diamètre; mais comme la manière dont s'opère cet accroissement diffère dans les *dicotylédones* et les *monocotylédones*, nous étudierons chacun à part le développement de ces deux tiges.

ACCROSSSEMENT DE LA TIGE DES DICOTYLÉDONES.

Accroissement en diamètre.

Parmi les opinions qui ont été émises pour expliquer le mécanisme par lequel cet accroissement a lieu, nous rapporterons seulement celles de MM. Duhamel, Dupetit-Thouars et Mirbel.

M. Duhamel ayant observé qu'au printemps, si l'on enlève une plaque d'écorce sur un arbre vigoureux, en ayant le soin de recouvrir la plaie d'une plaque de verre, on ne tarde pas à voir suinter un liquide visqueux, transparent, qui s'étend sur toute la plaie. C'est à ce liquide que Grew donnait le nom de *cambium*. Celui-ci s'organise peu à peu, et finit par remplacer le liber qui avait été enlevé. De cette expérience, Duhamel conclut que tous es ans il se formait, au moyen de ce cambium, une nouvelle

couche de liber pour remplacer celle qui s'était convertie en aubier, en même temps que celui-ci s'est transformé en bois. On peut ainsi expliquer la formation des zones concentriques que présente le tronc des dicotylédones, mais il est loin d'être prouvé que le liber se transforme bien en aubier. Quoi qu'il en soit, les couches sont souvent plus épaisses d'un côté, ce qui s'explique bien par le développement des racines du même côté, racines qui absorbent une plus grande quantité de sucs nourriciers.

Dans la théorie de M. Dupetit-Thouars, on admet que la formation successive des couches ligneuses est due au développement des bourgeons, que ceux-ci puisant les matériaux de leur nutrition dans le parenchyme intérieur, sont, dès l'instant où ils se manifestent, animés, comme l'embryon de la graine, de deux mouvements opposés, l'un ascendant et l'autre descendant; le premier produit la jeune branche et le second forme la couche ligneuse, en envoyant des fibres vers la partie inférieure de la plante; celles-ci glissent entre le liber et l'aubier, et s'y anastomosent avec les fibres des autres bourgeons. Considérant les bourgeons comme de véritables embryons, M. Dupetit-Thouars les désigne sous le nom d'*embryons fixes*, pour les distinguer de ceux qui sont dans la graine et qu'il nomme *embryons libres*. La base de la théorie du physiologiste que nous citons, repose sur les phénomènes de la greffe en écusson et sur le fait suivant: si l'on fait une forte ligature au tronc d'un arbre dicotylédone, il se forme un bourrelet circulaire au-dessus de la ligature et au-dessous; l'arbre cesse de croître en diamètre. Selon lui, le bourrelet ne se forme que par l'accumulation des fibres qui ne peuvent descendre en raison de l'obstacle que présente la ligature. Cette théorie, qui n'est pas entièrement admise, a donné lieu à beaucoup de discussions qu'il n'entre pas dans notre sujet de rapporter.

M. Mirbel explique d'une autre manière la formation annuelle des couches ligneuses. Selon lui, elles sont produites par le cambium, qui, chaque année, forme à la fois une couche d'aubier et une couche de liber. Si, en effet, on examine une jeune branche à l'époque de la végétation, on observe entre le liber et l'aubier une couche d'un fluide d'abord clair et limpide, qui peu à peu s'épaissit et prend de la consistance: c'est le cambium formé par la sève descendante, et mêlé à une partie des sucs propres du végétal; ce fluide s'organise et fournit une nouvelle couche au liber et une nouvelle à l'aubier.

Cette théorie, qui paraît la plus satisfaisante, explique parfaitement aussi l'organisation du liber, que nous avons vu être composé de plusieurs feuillets réunis les uns aux autres par une couche très mince de tissu cellulaire.

Accroissement en hauteur.

C'est encore à l'aide de la théorie de M. Mirbel que l'on peut expliquer l'accroissement en hauteur des tiges dicotylédones. En effet, quand on soumet une graine à la germination, la plumule s'élève vers le ciel, le cambium s'organise et croît en hauteur jusqu'à l'automne; alors il s'arrête, et l'on a ainsi une tige formée d'un cône allongé. Au printemps suivant, l'extrémité de la moelle que contient ce cône s'allonge, une nouvelle couche de cambium s'organise et forme un second cône d'aubier et de bois; à celui-ci chaque année en ajoute un autre, de sorte que le tronc n'est formé que d'une série de cônes emboîtés les uns dans les autres, dont la base offre autant de couches que l'arbre a d'années.

ACCROISSEMENT DE LA TIGE DES MONOCOTYLÉDONES.

L'accroissement de ces végétaux est très peu marqué en diamètre. Par exemple, après la germination d'un palmier, on ne voit point de tigelle; mais les feuilles qui forment la plumule, d'abord plissées sur elles-mêmes, se déroulent et se déploient en formant un faisceau circulaire au-dessus du collet de la racine. Du centre de ce faisceau, s'élève l'année suivante un autre bouquet de feuilles entièrement semblable au premier. Alors les feuilles anciennes sont repoussées à la circonférence, se dessèchent et tombent; mais leur base persistant et se soudant, constitue un anneau solide qui devient la base du *stipe* que chaque année augmente d'un semblable anneau, de sorte que le stipe se trouve composé d'anneaux superposés les uns aux autres, au lieu de l'être de couches concentriques.

Pour terminer tout ce qui a rapport à l'accroissement des tiges et à la formation des fibres du palmier, et peut-être de toutes les tiges monocotylédones, il ne nous reste plus qu'à rapporter en abrégé les observations que M. Mohl a faites sur la disposition des fibres du palmier, et sur la théorie par laquelle on peut expliquer dans le stipe une densité plus grande à l'extérieur qu'à l'intérieur.

Si l'on coupe transversalement une tige de palmier, nous avons vu que l'extérieur offrait un épiderme épais, contenant à l'intérieur une masse de tissu cellulaire dans lequel se trouvait une multitude de faisceaux de fibres qui vont en diminuant de la circonférence au centre. Si au lieu d'une coupe transversale on en fait une longitudinale, on aperçoit la même composition, mais les fibres sont entrecroisées de manière à former un lacis inextricable. On a cru long-temps que ces faisceaux se formaient de telle sorte, que ceux qui correspondent aux feuilles les plus intérieures étaient aussi les plus intérieurs, et qu'en se formant ainsi elles descendaient parallèlement à l'axe et en droite ligne. Dans cette hypothèse, les fibres les plus anciennes se trouvaient repoussées; de là venait la plus grande densité du bois à l'extérieur. On donna aux végétaux qui offraient ce mode d'accroissement le nom d'*endogènes.* Mais si l'on suit les fibres avec beaucoup de soin, en les prenant du côté des feuilles, on voit que d'abord elles se dirigent en dedans, puis marchent verticalement, et après quelque temps reviennent du côté de la circonférence pour se perdre dans la partie la plus extérieure, en sorte que la fibre qui correspond à la feuille la plus intérieure ou la plus nouvelle est justement la plus extérieure.

Cette remarque a été faite depuis sur quelques autres végétaux, notamment de la famille des graminées.

DES BOURGEONS.

Sous le nom de bourgeons (hybernacles, Lin.), on entend toutes les parties des plantes qui renferment les rudiments d'une nouvelle production. On les divise en :

bourgeons proprement dits, turion, bulbe, tubercule, bulbille.

Des bourgeons proprement dits.

Les bourgeons proprement dits sont des corps ordinairement ovoïdes, coniques ou arrondis, placés le plus souvent sur les branches, dans l'aisselle des feuilles ou à l'extrémité des rameaux; ils sont formés d'écailles superposées les unes aux autres sous lesquelles, dans les climats froids, se trouve une sorte de bourre ou tissu tomenteux qui cache les rudiments de branches, de feuil-

les et de fleurs. Ces écailles, qui ne sont autre chose que des organes avortés, tels que feuilles, pétioles, etc., constituent dans leur ensemble la *pérule* de M. Mirbel. Dans les végétaux de la zone torride, les bourgeons ne sont pas recouverts d'écailles, d'où la division de ces organes en *nus* et *écailleux*. Ces derniers sont eux-mêmes divisés en *foliacés*, *pétiolacés* et *fulcracés*. Quand en été, au moment de la plus grande végétation, ils commencent à poindre, on les appelle *yeux* ou *œilletons*. En automne ils croissent encore, et prennent le nom de *boutons;* et c'est au printemps, qu'après être restés stationnaires l'hiver, ils achèvent de se développer et prennent alors le nom de *bourgeons*. Selon que les bourgeons contiennent des fleurs ou des feuilles, ou l'un et l'autre, on les appelle *florifères*, *foliifères* et *mixtes*.

DU TURION.

On appelle *turion* le bourgeon souterrain des plantes vivaces, qui en se développant produit chaque année de nouvelles tigess.

DU BULBE.

Le *bulbe* est une espèce de bourgeon qui se remarque sur certaines plantes vivaces, en particulier sur les monocotylédones. Il est formé d'écailles charnues et épaisses, qui tantôt restent cachées sous terre, tantôt se montrent à la surface, et qui sont portées par une espèce de plateau solide, horizontal et intermédiaire à elles et aux véritables racines. Au centre de ces écailles, on trouve les rudiments de la hampe et des feuilles. D'après la forme des écailles, on a divisé le bulbe en *bulbes en tunique*, quand elles sont d'une seule pièce et s'emboîtent les unes dans les autres (ognon, hyacinthe, etc.); *bulbes écailleux*, lorsqu'elles sont libres par leurs côtés et toutes imbriquées (lys); *bulbes solides*, si elles sont tellement soudées et confondues entre elles, qu'elles ne forment qu'un corps homogène et solide (crocus sativus).

Le bulbe peut encore être *simple* ou *multiple*. On donne à chaque partie du bulbe multiple le nom de cayeux.

Les bulbes se régénèrent chaque année; tantôt de nouveaux bulbes naissent au centre même des anciens, tantôt à leur partie latérale, et tantôt au-dessous ou au-dessus.

DES TUBERCULES.

Ce sont des amas de fécule amylacée qui se rencontrent sur les racines tubérifères, et que l'on doit considérer comme de véritables bourgeons souterrains.

DES BULBILLES.

Les *bulbilles* ne diffèrent des bulbes que par leur moindre volume, et parce qu'elles naissent sur les diverses parties des plantes, telles que l'aisselle des feuilles, l'intérieur des spathes, du péricarpe, etc. Lorsque ces bulbilles sont mûres, elles se détachent d'elles-mêmes, s'enracinent dans la terre, et donnent naissance à un nouvel individu. On appelle vivipares les plantes qui portent des bulbilles.

DES FEUILLES.

Les feuilles, avant de se développer, sont toujours renfermées dans les bourgeons; elles y sont diversement disposées les unes par rapport aux autres, mais toujours de la même manière dans toutes les plantes de la même espèce, souvent du même genre, quelquefois même de toute une famille. On a donné à cette disposition des feuilles dans le bourgeon le nom de *préfoliation*.

Les feuilles sont des expansions membraneuses ordinairement planes, verdâtres, horizontales, naissant sur la tige et les rameaux, ou partant immédiatement du collet de la racine. Quand on examine leur structure générale, on la trouve formée d'un faisceau de fibres qui se sépare de la tige pour aller composer le squelette de la feuille. Ces fibres sont composées de trachées, de fausses trachées, de vaisseaux poreux et de vaisseaux des sucs propres, entremêlés d'un peu de tissu cellulaire provenant de l'enveloppe herbacée de la tige. Ce tissu cellulaire, en remplissant les intervalles laissés par les fibres, constitue le *parenchyme* de la feuille. Quelquefois ce parenchyme manque comme dans l'*hydrogeton*. La surface de ce tissu cellulaire, en se desséchant à l'air, forme l'épiderme de la feuille. Celle-ci présente à sa partie supérieure une surface lisse plus verte, couverte d'un épiderme presque dépourvu de stomates et plus adhérent; sa

face inférieure est plus molle, d'une couleur moins foncée, souvent couverte de poils ou de duvet, et offrant un épiderme percé d'un grand nombre de pores ou stomates. Entre les deux lames d'épiderme, se trouve la partie formée par les fibres et le parenchyme, et que M. Decandolle nomme *mésophylle;* c'est lui qui donne la forme à la feuille. Cependant M. Brongniart a fait voir que les feuilles submergées sont dépourvues d'épiderme et par conséquent de stomates. Le parenchyme y existe constamment, mais les nervures des feuilles ne sont formées que par des cellules allongées, disposées en séries linéaires, mais ne constituant jamais de véritables vaisseaux. La feuille peut donc être plus simplement définie par l'épanouissement d'un faisceau de fibre, dont les intervalles sont pour l'ordinaire remplis par du parenchyme. Quand l'épanouissement se fait, dès que le faisceau se sépare de la tige, la feuille qui est attachée sans le secours d'aucun support est appelée *sessile;* si, au contraire, ce faisceau se prolonge quelque temps avant de se diviser, il prend le nom de *pétiole*, pendant que le nom de *limbe* est donné à la partie épanouie de la feuille, et la feuille est alors dite *pétiolée.* Ce pétiole peut être simple ou ramifié; dans ce dernier cas il prend le nom de *support commun* ou *rachis*, et ses divisions et subdivisions *pétioles partiels* ou *pétiolules*.

Le *limbe* qui constitue la feuille proprement dite offre à considérer 1° une face supérieure tournée vers le ciel; 2° une face inférieure tournée vers le sol; 3° une base, partie qui s'unit à la tige ou au pétiole; 4° un sommet, extrémité opposée à la base; 5° une circonférence, ou ligne déterminant la forme de sa surface. La face inférieure de la feuille est encore remarquable par un grand nombre de prolongements provenant du pétiole, qui se prononcent encore quoique à un moindre degré sur la face supérieure. On les connaît sous le nom de *nervures.* Celle qui fait suite au pétiole et qui est la principale, se dirige longitudinalement et divise la feuille en deux parties à peu près égales: on l'appelle *côte* ou *nervure médiane.* Les autres partent toujours de ses parties latérales ou de sa base et prennent le nom de *nervures* proprement dites quand elles sont un peu prononcées, de *veines* quand elles le sont moins, et *veinules* quand elles le sont peu. Ces nervures peuvent quelquefois se développer au-delà de la circonférence et former des épines plus ou moins aiguës (ilex aquifolium). On peut se servir avec avantage de la disposition des nervures des feuilles pour caracté-

riser plusieurs divisions des végétaux. En effet, excepté quelques *aroïdes*, tous les monocotylédones offrent des nervures simples et parallèles entre elles. Les dicotylédones au contraire présentent des nervures qui sont ramifiées et anastomosées de diverses manières. La disposition des nervures donne lieu à trois modifications qu'on nomme 1° *basinerves* ou *digitinerves*, lorsque les nervures partent de la base de la feuille et se dirigent vers son sommet; 2° *latérinerves* ou *penninerves*, quand les nervures naissent des parties latérales de la côte; 3° *mixtinerves*, quand elles participent de ces deux caractères.

Les feuilles peuvent être simplement attachées à la tige par un rétrécissement ou articulation qui ne fait pas corps avec elle; on les dit alors *caduques* ou *articulées*, et elles peuvent tomber de bonne heure; quand au contraire elles sont tellement unies à la tige qu'on ne saurait les en séparer sans déchirement, on les dit *persistantes*.

Quant à la manière dont les feuilles sessiles sont attachées sur la tige, on les distingue en : *amplexicaules*, quand elles embrassent la tige dans toute sa circonférence; *semi-amplexicaules*, si elles n'en enveloppent que la moitié; *engaînantes*, quand leur base se prolonge et forme une gaîne qui enveloppe la tige (*graminées*, *cypéracées*); *décurrentes*, lorsque le limbe se prolonge plus ou moins sur la tige sous forme d'ailes membraneuses (*verbascum thapsus*); perfoliées, si le limbe paraît traversé par la tige (*buplevrum rotundifolium*); *connées* ou conjointes, lorsque étant opposées elles se soudent par leur base à travers laquelle passe la tige (saponaria officinalis). Lorsque le limbe d'une feuille est formé d'une même pièce, son pétiole n'offrant aucune division sensible, elle est *simple* (tilleul, lilas). Quand au contraire la feuille est formée par l'assemblage de plusieurs petites feuilles isolées les unes des autres et que l'on nomme *folioles*, la feuille est alors *composée*. Ces folioles sont fixées sur le pétiole commun ou *rachis*, soit immédiatement, soit à l'aide d'un petit pétiole particulier nommé *pétiolule*; elles peuvent être aussi articulées ou non articulées. C'est dans ces sortes de feuilles articulées que l'on remarque ces phénomènes de mobilité que Linnée appelait *sommeil des feuilles*, dont la famille des légumineuses en particulier nous offre de si fréquents exemples. Indépendamment de ces deux principales modifications, les feuilles peuvent offrir une série de modifications qui montrent un passage insensible de l'une à l'autre.

Les *feuilles simples* peuvent être :

1° Relativement au lieu d'où elles naissent, *séminales, primordiales, radicales, caulinaires, ramaires, florales*, etc.

2° Selon la manière dont elles sont disposées sur la tige et les rameaux, *opposées, verticillées, alternes, distiques, unilatérales, éparses*, etc.

Par cette dernière dénomination, il ne faut pas croire que les feuilles soient disposées sans ordre sur la tige; au contraire, Bonnet a montré qu'elles n'étaient disposées que d'après une spirale autour de la tige, et dont chaque tour de spirale contient un plus ou moins grand nombre de feuilles, nombre qui ne varie plus pour chaque tour dans une même espèce. Ainsi quelquefois la spirale est formée de cinq feuilles, et la cinquième correspond à la première : on les nomme alors feuilles en *quinconce*. Quelquefois la spirale n'en contient que trois, et la troisième est au-dessus de la première, la quatrième au-dessus de la deuxième : alors on les nomme *distiques* (ormes). Quelquefois la spirale en contient six, huit, dix, ou même un plus grand nombre.

Dans certains végétaux plusieurs spirales marchent parallèlement les unes à côté des autres : le *pandanus* par exemple en offre trois.

3° Quant à leur direction par rapport à la tige, les feuilles sont : *dressées, étalées, infléchies, réfléchies, pendantes*, etc.

4° Dans leur circonscription elles peuvent être *orbiculées, ovales, elliptiques, lancéolées, filiformes, spatulées*, etc.

5° Les feuilles échancrées à leur base peuvent être *cordiformes, réniformes, sagittées, hastées*.

6° D'après la manière dont elles sont terminées, elles sont *aiguës, piquantes, acuminées, mucronées, obtuses, bifides, bilobées, bipartites*, etc.

7° Elles sont quelquefois anguleuses et alors elles sont : *triangulaires, rhomboïdales, deltoïdes, trapézoïdes*, etc.

8° D'après le nombre des incisions qu'offre leur limbe, elles peuvent être : *trifides, quadrifides, multifides, trilobées, multilobées, tripartites, multipartites, palmées, pinnatifides*, etc.

9° Par rapport à leur expansion, elles sont : *planes, convexes, concaves, striées*, etc.

10° Eu égard à leur consistance : *membraneuses*, *coriaces*, *molles*, *roides*, etc.

11° D'après leur coloration, vertes, glauques, tachetées, etc. La couleur verte des feuilles est due, comme celle du tissu cellulaire en général, aux granules verts qui existent dans l'intérieur des utricules, granules qui constituent la *globuline* de M. Turpin ou la *chromule* de M. de Candolle.

12° Enfin, quand le grand pétiole existe, il peut s'insérer au centre de la face inférieure de la feuille, qu'on dit alors être *peltée* (*tropæolum majus*); il peut être en forme de massue, dans le *trapa natans*; en forme de gouttière sur la face qui regarde la tige, dans plusieurs *ombellifères*, etc.; et lorsque le limbe de la feuille se prolonge sur lui en formant deux appendices membraneux, on dit qu'il est ailé (citrus aurantium).

Les *feuilles composées* sont dites simplement *composées*, si le pétiole commun ne se divise pas; *décomposées*, s'il se ramifie, et *sur-décomposées*, s'il se subdivise plusieurs fois. Les premières sont *digitées* ou *pennées* : digitées, toutes les fois que les folioles partent en divergeant du sommet même du pétiole commun (marronnier d'Inde); pennées, quand les folioles prennent leur origine sur les parties latérales du rachis (acacia, baguenaudier).

Les feuilles sont avec les racines les organes essentiels de la nutrition des végétaux. Ce sont elles qui absorbent dans l'atmosphère les substances nutritives qui y sont répandues à l'état de gaz ou de vapeurs. Elles servent puissamment à l'assimilation en décomposant les substances pour les faire concourir à la nutrition du végétal. C'est par elles que se fait la décomposition de l'acide carbonique dont elles s'approprient le carbone, et rejettent l'oxigène sous l'influence de la lumière. Enfin, c'est par elles que certains principes inutiles à leur alimentation sont rejetés, tantôt sous forme de gaz, tantôt sous forme de vapeurs, et tantôt sous forme de corps solides. Le premier de ces phénomènes est connu sous le nom de *respiration;* le second, sous celui de *transpiration ;* et le troisième, sous celui d'excrétions végétales.

DES STIPULES.

Les *stipules* sont de petits appendices membraneux et foliacés que l'on rencontre vers les points de la tige où s'insère le pé-

tiole; ordinairement elles ne font pas corps avec ces derniers organes. Leur nature, leur forme et leur consistance varient considérablement; leur durée est également assez variable. On les dit *fugaces*, quand elles tombent avant les feuilles, et caduques, si elles ne tombent qu'avec les feuilles; enfin, d'autres persistent et ne tombent qu'après les feuilles. Elles paraissent destinées à protéger les feuilles avant leur développement.

DES VRILLES.

Les *vrilles*, *cirrhes* ou *mains* sont des filaments simples ou ramifiés, qui se roulent en spirales autour des corps voisins et servent à soutenir la plante. Elles proviennent toujours d'organes avortés, tels que des pédoncules floraux, des pétioles, des stipules, et même des rameaux, organes dont ils occupent toujours la place. Il ne faut pas confondre les vrilles avec les *griffes*, sortes de racines que les plantes sarmenteuses enfoncent dans les corps sur lesquels elles s'élèvent pour y puiser, à l'aide de *suçoirs*, les matières nutritives que ces corps contiennent.

DES ÉPINES ET DES AIGUILLONS.

On donne le nom d'*épines* à des excroissances dures et pointues, formées par le prolongement du tissu interne du végétal. Elles proviennent le plus souvent d'organes avortés, ou d'autres fois d'organes persistants qui, en vieillissant, se sont durcis et sont devenus ligneux et acérés.

Les *aiguillons* diffèrent des épines en ce qu'ils sont formés par l'épiderme dont on peut les détacher très facilement. Quelques physiologistes pensent que ce sont des poils endurcis et persistants.

SECTION DEUXIÈME.

ORGANES DE LA REPRODUCTION.

Les organes de la reproduction ou de la fructification sont ceux qui servent à la conservation de l'espèce et à la propagation des

races; tels sont : les *fleurs*, les fruits et les différentes parties qui les forment, que nous diviserons, à l'exemple de plusieurs auteurs, en deux sections savoir : les organes de la floraison et les organes de la fructification.

Art. Ier. — des organes de la floraison.

La fleur est essentiellement formée par les organes sexuels réunis sur un support commun, avec ou sans enveloppes extérieures. L'organe sexuel mâle se nomme *étamine;* l'organe sexuel femelle est appelé *pistil*. Mais les fleurs n'offrent pas toutes les organes mâles et les organes femelles réunis; ainsi quelques fleurs ne sont formées que par une ou plusieurs étamines, ou un ou plusieurs pistils, et alors la fleur est dite *mâle* ou *femelle*. Quand ces deux organes sont réunis, on dit que la fleur est hermaphrodite. Le plus souvent ces fleurs mâles ou femelles sont enveloppées dans des organes accessoires qu'on appelle enveloppes florales ou périanthes, et qui sont le plus souvent formées par le *calice* et la *corolle*. Alors on dit que la fleur est *complète*, en admettant la réunion des deux sexes. Ces organes accessoires paraissent être employés à favoriser les fonctions que la fleur est appelée à remplir, ainsi qu'à protéger ses organes essentiels.

Si l'on analyse une fleur complète, en allant du centre à la circonférence, on trouve : 1° le *pistil* ou organe femelle, formé de l'*ovaire*, du *style* et du *stigmate*; 2° les *étamines* ou organe mâle composé du *filet*, de l'*anthère* et du *pollen;* 3° la *corolle*, enveloppe florale la plus intérieure; 4° le *calice*, enveloppe florale la plus extérieure. Indépendamment de ces parties, quelques fleurs offrent encore certains organes que l'on ne considère que comme accessoires, tels que les *bractées*, les *nectaires*, etc.

Avant de commencer l'étude des différentes parties de la fleur, il est essentiel de parler de ses supports et des bractées, de l'inflorescence et de la préfloraison.

DES SUPPORTS DE LA FLEUR ET DES BRACTÉES.

Lorsque la fleur est immédiatement attachée aux branches ou aux rameaux, elle est alors dite *sessile*. Mais souvent elle n'y est

fixée qu'à l'aide d'un prolongement particulier que l'on nomme *pédoncule*, la fleur est alors *pédonculée*. Ce pédoncule peut être simple ou ramifié; dans ce dernier cas chacune de ses divisions est appelée *pédicelle* et la fleur est *pédicellée*. Quand il arrive que ce pédoncule prend naissance au milieu d'un assemblage de feuilles radicales, on lui réserve le nom de *hampe;* au contraire, on le nomme *épiphylle* lorsqu'il prend naissance sur la surface même des feuilles (*ruscus aculeatus*). Ses différentes positions sur la tige et sur les rameaux lui font encore recevoir divers noms, tels que ceux de *caulinaire*, *axillaire*, *terminal*, etc.

Souvent de petites feuilles différentes des autres par leur couleur, leur consistance, etc., se trouvent réunies autour d'une ou plusieurs fleurs; ces feuilles ont reçu le nom de *bractées*. Ces bractées sont ordinairement libres de toute adhérence, quelquefois pourtant elles adhèrent avec le pédoncule de la fleur (tilleul). Quand elles se trouvent réunies plusieurs ensemble, elles forment des organes accessoires qu'on appelle : *involucre*, lorsqu'elles sont disposées symétriquement autour d'une ou de plusieurs fleurs (*ombellifères*); *calicule*, lorsque, ne contenant qu'une fleur et adhérant à la base du calice, elles semblent former un second calice (*malvacées*); *cupule*, quand elles sont persistantes et qu'elles entourent la base du fruit ou l'enveloppent entièrement (quercus robur); *spathe*, lorsqu'elles sont étendues sous forme de membranes, et renferment une ou plusieurs fleurs, qui ne se montrent qu'après le déroulement ou le déchirement de l'espèce de sac qu'elles forment (arum, allium).

Dans la famille des graminées et celle des cypéracées, qui ne présentent ni corolle, ni calice, les enveloppes florales ne sont que de véritables bractées, placées sur plusieurs rangs et auxquelles on a donné différents noms. Ainsi on nomme *glume* les deux écailles de forme très variée qui se trouvent les plus proches des organes sexuels, et *lépicène* toutes les autres paillettes qui sont en dehors de la glume, et dont le nombre varie beaucoup. Souvent, en dehors des organes sexuels, on trouve un ou deux petits corps de figures diverses qui portent le nom de *paléoles*, et dont l'ensemble constitue la *glumelle*. Enfin on nomme *épillet* la réunion d'une ou de plusieurs fleurs en une sorte de petit épi.

DE L'INFLORESCENCE.

Par *inflorescence* on entend parler de la disposition que les fleurs affectent sur la tige et les autres parties qui les supportent. Cette partie de l'organographie a été étudiée plus particulièrement par M. Rœper.

Une fleur peut être considérée physiologiquement comme un bourgeon particulier, formé ordinairement de quatre verticelles de feuilles diversement modifiées et très rapprochées les unes des autres; et comme le pédoncule n'est qu'un rameau très court au sommet duquel se trouve la fleur, on peut dire généralement qu'elle est *terminale*.

Les différentes inflorescences peuvent être toutes ramenées à trois modes principaux d'après lesquels nous allons les étudier.

§ I. *Inflorescence axillaire.*

Cette inflorescence, qu'on désigne encore sous le nom d'inflorescence indéfinie ou à développement centripète, se présente toutes les fois que les fleurs naissent soit de l'aisselle des feuilles, soit de l'aisselle des bractées; dans le premier cas on dit que les fleurs sont *axillaires*. S'il n'y a qu'une seule fleur à l'aisselle de chaque feuille, on dit qu'elles sont *solitaires* (pervenche); elles sont *géminées* quand il y en a deux; *ternées*, etc., quand il y en a un plus grand nombre. C'est à cette espèce d'inflorescence que se rapportent celles qui ont reçu des noms particuliers et qui sont les suivants :

1° *Épi*, lorsque les fleurs sont disposées sur un axe commun, simple et non ramifié, qu'elles soient sessiles ou pédonculées et droites ou penchées.

2° *Grappe*, si le pédoncule commun se divise plusieurs fois et d'une manière irrégulière (marronnier).

3° *Panicule*, quand l'axe commun se ramifie et que ses divisions secondaires sont très allongées et écartées les unes des autres (graminées).

4° *Ombelle*, quand tous les pédoncules sont égaux entre eux, partent d'un même point de la tige, divergent, se ramifient en

pédicelles, qui partent également tous de la même hauteur, de manière que l'ensemble des fleurs représente une surface bombée, imitant assez un parasol étendu (*ombellifères*).

5° *Sertule*, si les pédoncules sont simples, partant tous du même point et arrivant à peu près à la même hauteur (butomus umbellatus), etc.

6° *Capitule* ou *calathide*, quand un nombre plus ou moins considérable de petites fleurs se trouvent réunies sur un réceptacle commun, manifestement plus renflé et plus large que le sommet du pédoncule, et entourées d'un involucre particulier (péricline, Rich.) que l'on nomme encore calice commun. Cette inflorescence est particulière aux *composées* ou *synanthérées*. M. Richard appelle *phorante* le réceptable commun de ces fleurs.

7° *Châton*, lorsque des fleurs unisexuées, composées d'une écaille qui leur sert en quelque sorte de périanthe, sont insérées sur un axe commun simple, articulé à sa base et se détachant en entier après la floraison (amentacées).

8° *Spadice*, si le pédoncule commun est couvert de fleurs unisexuées nues, c'est-à-dire sans calice propre, ordinairement séparées les unes des autres et quelquefois renfermées dans une spathe (arum, calla). Cette inflorescence est propre aux plantes monocotylidones et aux poivriers.

Maintenant si nous recherchons la manière dont marche le développement des fleurs, en considérant, comme les plus extérieures, les fleurs qui sont à la base de la tige ou de l'axe floral, et les plus intérieures ou les plus centrales, celles qui sont à leur sommet; nous verrons que toujours le développement des fleurs marche de la base au sommet, ou, ce qui est la même chose, de la circonférence au centre. Or, c'est cette inflorescence que M. Rœper appelle inflorescence à *évolution centripète* ou indéfinie, puisque l'axe ou la partie supérieure de la tige tend constamment à s'allonger et à produire de nouvelles fleurs.

§ II. *Inflorescence terminée.*

Dans cette inflorescence, la tige ou le rameau principal, au lieu de tendre à s'allonger par son sommet en donnant naissance à de nouvelles fleurs, se termine par une fleur accompagnée à sa base de deux bractées opposées ou d'un plus grand

nombre verticillées, de l'aisselle desquelles peut naître une fleur ou un rameau terminé lui-même par une fleur. Cette nouvelle fleur peut être munie de deux bractées d'où sortent deux autres rameaux, et ainsi de suite. On donne le nom général de *cyme* à cette espèce d'inflorescence (ruta graveolens). Elle se distingue de la précédente en ce que les fleurs terminent toujours le rameau, et parce que les fleurs centrales s'épanouissent avant celles de la circonférence; de là le nom d'inflorescence à *évolution centrifuge* donné à cette espèce d'inflorescence par M. Rœper.

§ III. *Inflorescences mixtes.*

Comme l'indique son nom, cette inflorescence participe des deux dispositions précédentes. Ici viennent se ranger les inflorescences connues sous les noms de *thyse* et de *corymbe.*

On donne le nom de *thyrse* à l'inflorescence dans laquelle l'axe central offre une évolution indéfinie, tandis que les rameaux latéraux offrent une inflorescence terminée (lilas, vigne).

Le *corymbe* est cette inflorescence dans laquelle l'axe central offre une évolution terminée et les rameaux latéraux des inflorescences indéfinies. Ce mode opposé au précédent s'observe spécialement dans une tribu des synanthérées, qu'on a désignée sous le nom de *corymbifères.*

§ IV. *Inflorescences anomales.*

On réunit sous ce nom toutes les inflorescences que l'on ne peut faire entrer dans aucune des trois classes précédentes. Ainsi quelquefois les fleurs sont *oppositifoliées* (douce-amère); *extra-axillaires* (quelques solanées); *radicales* (mandragore). Enfin quelquefois les fleurs sont soudées avec les pétioles, ou naissent immédiatement sur les feuilles (*inflorescence épiphylle*); dans ce cas ces feuilles doivent n'être considérées que comme un rameau très comprimé et élargi qui remplace les véritables feuilles (xylophylla).

DE LA PRÉFLEURAISON.

On nomme *préfleuraison* ou *estivation* la disposition particulière qu'affectent les parties de la fleur dans le bouton. Elle est généralement la même dans toutes les plantes d'une même famille. On ne s'est jusqu'ici occupé particulièrement que de la préfleuraison de la corolle; celle du calice méritait sans doute quelque attention ainsi que celle des organes sexuels. La corolle peut offrir ses divisions tantôt imbriquées (*rosa*), tantôt roulées en spirales (*oxalis*, *apocynées*), tantôt chiffonnées (*papavéracées*), enfin rapprochées et appliquées les unes sur les autres, comme les valves d'une capsule (araliacées), etc.

DES ENVELOPPES FLORALES.

Nous avons vu que les enveloppes florales n'existent pas dans toutes les plantes; lorsqu'elles existent, Linnée donne à leur ensemble le nom de *périanthe*, et M. de Candolle celui de périgone.

Le périgone peut être simple ou double.

Quand le périgone est simple, on lui donne aujourd'hui assez généralement le nom de *calice*, parce qu'on a observé que le périgone simple est comme le véritable calice, la continuation de la partie la plus extérieure du pédoncule. Tournefort l'appelait *calice* quand il était persistant, et *corolle* quand il était caduc. Linnée l'appelait *calice* et *corolle* selon son degré de coloration.

Lorsque le périgone est double, la partie la plus extérieure prend le nom de *calice*, et la plus intérieure celui de *corolle*.

§ 1er. *Du calice.*

Le *calice* est la partie la plus extérieure du périgone double, ou ce périgone lui-même quand il est simple. Cet organe, qui fait suite à l'écorce du pédoncule, peut être composé d'une seule ou de plusieurs pièces que l'on nomme *sépales*, et on le dit *monosépale* ou *polysépale*. Remarquons que M. de Candolle préfère le nom de *gamosépale* à celui de monosépale, parce que le

premier signifie que le calice est composé de plusieurs pièces soudées.

On distingue dans un calice gamosépale le *tube* qui est la partie inférieure, le *limbe* ou partie supérieure, et la *gorge* ou la ligne qui sépare le tube du limbe. Celui-ci est rarement entier, le plus souvent il est divisé, et alors on le dit *denté*, *bifide*, *trifide*, etc., *biparti*, *triparti*, etc., selon l'étendue de ses divisions.

Tantôt il est *régulier* (borrago officinalis), tantôt irrégulier (tropæolum majus). Il peut être *libre* ou *adhérent*, dans ce dernier cas il enveloppe l'ovaire avec lequel il est soudé et qui est toujours infère.

La forme du calice varie considérablement; ainsi il est *tubuleux* dans le *primula veris; urcéolé* quand, comme dans l'*hyosciamus niger*, il est renflé à sa base et resserré à sa gorge, le limbe étant dilaté; *bi-labié* quand il offre deux lèvres distinctes (salvia officinalis); *éperonné*, en offrant un prolongement creux à sa base (tropæolum majus), etc.

Le calice polysépale est appelé *disépale*, *trisépale*, *tétra-sépale*, etc., selon le nombre de sépales qui le composent; enfin, comme le calice monosépale, il prend différents noms d'après la figure, la forme et l'arrangement de ses sépales, etc.

§ II. *De la corolle.*

La *corolle* n'existe jamais que dans les fleurs à périgone double dont elle est la partie interne; elle entoure immédiatement les organes de la reproduction, et, quoique son tissu soit mou et délicat, on pense qu'elle n'est que le prolongement de la partie ligneuse de la tige. C'est elle qui, souvent ornée des couleurs les plus riches, est considérée seulement, par le vulgaire, comme la fleur, pendant que le botaniste ne voit de fleur que dans les étamines et le pistil. Son épiderme ne contient que très rarement des *stomates*. Comme le calice, elle peut être *gamopétale* ou *polypétale*, selon qu'elle est formée d'une ou plusieurs pièces qu'on appelle *pétales*. Chacun de ces pétales dont la forme varie beaucoup, est formé de l'*onglet*, partie inférieure, rétrécie, plus ou moins allongée, et par laquelle elle est attachée; la *lame*, partie élargie, étalée, qui surmonte l'onglet. La position des pétales, par rapport aux sépales, présente les deux modifications suivantes : les divisions sont *opposées* quand les pétales

et les sépales se correspondent par leurs faces (*berberis*); *alternes*, lorsque les pétales correspondent aux incisions du calice (crucifères, rosacées).

La corolle est encore dite *fugace*, quand elle tombe aussitôt qu'elle s'épanouit; *décidue*, tombant après la fécondation; *marcescente*, persistant après la fécondation et se fanant sur la fleur avant de s'en détacher. Enfin, elle peut être *régulière* ou *irrégulière*.

1° La *corolle mono* ou *gamopétale* se compose de trois parties: le *tube*, partie inférieure cylindrique; le *limbe*, partie évasée; la *gorge*, ligne circulaire qui sépare le tube du limbe. Quelquefois, en outre, elle offre un prolongement creux qu'on nomme *éperon* (linaria vulgaris). Elle donne en général attache aux étamines. Lorsqu'elle vient à se faner elle tombe d'une seule pièce, abandonnant quelquefois sa base qui persiste (nyctago hortensis).

A. Corolle gamo-pétale régulière.

Cette corolle offre des formes très variées; ainsi on trouve des corolles:

Tubulée, offrant un tube très allongé (nyctago hortensis);

Campanulée, s'évasant de la base vers la partie supérieure (campanula rapunculus);

Infundibuliforme ou en *entonnoir*, présentant un tube plus ou moins étroit, surmonté par un limbe évasé et large (nicotiana tabacum);

Hypocratériforme ou en *soucoupe*, ayant un tube long, étroit, non dilaté à sa partie supérieure, et dont le limbe est plane ou un peu concave (jasminum officinale);

Urcéolé ou en *grelot*, renflée à sa partie moyenne et rétrécie à ses deux extrémités (erica);

Étoilée; petite à tube court et à divisions aiguës et allongées (gallium);

Rotacée ou en *roue;* à tube très court, à limbe étalé et presque plane (borrago officinalis); scutellée, à tube court et à limbe étalé ou concave.

B. Corolle gamo-pétale irrégulière.

Cette corolle est appelée :

Labiée ou *bilabiée*, quand le tube est plus ou moins allongé, un peu courbé, la gorge ouverte, et que le limbe offre deux divisions, l'une supérieure et l'autre inférieure, qu'on appelle *lèvres* (labiées).

Personnée, lorsque la lèvre inférieure présente un renflement appelé *palais*, qui ferme la gorge et représente à peu près le mufle d'un animal (linaria vulgaris).

Anomale, quand sa forme s'éloigne des deux types précédents et qu'elle n'en a aucune bien déterminé (digitale).

2° La *corolle polypétale* est aussi *régulière* ou *irrégulière*, et le nombre des pétales, qui peut beaucoup varier, lui fait donner les noms de corolle *dipétale*, *tripétale*, *tétrapétale*, etc.

A. Corolle polypétale régulière.

La corolle polypétale régulière est:

Cruciforme, quand elle a 4 pétales disposés en croix (crucifères).

Rosacée, quand elle est composée de 3 à 5 pétales, quelquefois plus, dont les onglets sont courts et qui sont étalés et disposés en rosace (rosacées).

Caryophyllée, si elle est formée de 5 pétales, à onglets très longs, et cachés par le calice qui est lui-même aussi très long (dianthus, cucubalus).

B. Corolle polypétale irrégulière.

Cette corolle est :

Papillonacée, lorsqu'elle est composée de 5 pétales irréguliers, l'un supérieur, ordinairement redressé, appelé *étendard* ou *pavillon ;* deux inférieurs, presque toujours soudés ensemble, et constituant la *carène*, et deux latéraux que l'on nomme *ailes*. Cette corolle appartient à la division des légumineuses qu'on désigne sous le nom de *papillonacées anomales.* Quand elle est formée de pétales irréguliers et qu'elle ne peut se rapporter à l'espèce précédente (aconit, capucine, etc.).

DES ORGANES SEXUELS.

Les organes sexuels, dans les végétaux, consistent dans l'*étamine*, organe mâle, et dans le *pistil*, organe femelle. La plupart des végétaux offrent ces deux organes réunis dans la même fleur qu'on dit alors être *hermaphrodite* ou *monocline ;* quand au contraire les fleurs n'offrent que l'un ou l'autre de ces organes, on les dit *unisexuées* ou *diclines*.

§ I. *De l'étamine.*

L'étamine est ordinairement formée de 3 parties distinctes: l'*anthère*, le *pollen* et le *filet*. Le nombre des étamines dans une fleur varie beaucoup; ce qui les a fait distinguer en fleurs *monandres*, *diandres*, *triandres*, *tétrandres*, etc., selon qu'elles contiennent une, deux, trois, quatre, etc., étamines; le plus souvent elles sont égales, mais quelquefois elles sont inégales, et alors, quand, sur quatre étamines, il y en a deux plus courtes, on les appelle *didynames;* on les nomme *tétradynames*, lorsque, sur six étamines, quatre sont plus grandes que les deux autres.

Ordinairement les étamines sont alternes avec les divisions de la corolle et opposées avec celles du calice. Tantôt elles sont plus courtes que la corolle et le calice, on les dit alors *incluses* (primula veris); tantôt elles sont plus longues, etc., elles sont nommées *exertes* (lycium europæum).

Les étamines sont quelquefois réunies ensemble par leur filet ou par leur anthère; d'autres fois elles sont réunies et confondues avec le pistil.

Dans certaines fleurs, constamment un certain nombre d'étamines avortent. Le plus souvent alors elles sont remplacées par des appendices particuliers auxquels on donne le nom de *staminodes*.

Relativement à l'insertion des étamines sur les différentes parties de la fleur, on en distingue trois principales : 1° l'insertion *hypogynique*, dans laquelle les étamines sont insérées sous l'ovaire (labiées) ; 2° l'insertion *périgynique*, dans laquelle elles sont attachées au calice (rosacées); 3° l'insertion *épigynique* qui a lieu toutes les fois que l'ovaire est enveloppé par le calice et y adhère, et que les étamines sont attachées à son sommet. (ombellifères, synanthérées).

A. Du filet

Le *filet* ou *filament* est la partie de l'étamine qui supporte l'anthère ; il est ordinairement droit et allongé, filiforme, et susceptible de présenter plusieurs modifications de forme : ainsi il peut être capillaire, aplati, subulé, etc. Son existence n'est pas absolument nécessaire; il manque souvent, et l'anthère est alors *sessile*. Lorsqu'il porte plusieurs anthères, ou mieux quand plusieurs filets sont soudés ensemble, ils portent le nom d'*androphores*, et les étamines prennent le nom de *monadelphes*, diadelphes, etc., selon que les filets sont réunis en un, deux, ou un plus grand nombre d'androphores.

B. De l'anthère.

L'anthère est une capsule membraneuse, le plus souvent formée de deux petites loges dans lesquelles se trouve renfermé le pollen. Elles sont réunies l'une à l'autre par leur côté, au moyen d'un corps intermédiaire, nommé *connectif*, et qui prend quelquefois un développement très considérable. Chacune de ces loges est elle-même partagée intérieurement en deux parties, par une cloison longitudinale ; dans quelques cas cependant, l'anthère n'a qu'une seule loge ; rarement elle en présente quatre (butomus umbellatus).

Chaque loge présente ordinairement sur l'une de ses faces un sillon longitudinal par lequel elle s'ouvre le plus souvent, mais dans quelques cas cette déhiscence se fait par des pores situés dans divers points ou par de petites valvules qui se soulèvent de bas en haut. On donne le nom de *face* au côté par lequel se fait la déhiscence, et celui de *dos* à la face opposée. Lorsque la *face* est tournée vers le centre de la fleur, l'anthère est *introrse ;* lorsque, au contraire, elle regarde la circonférence, elle est *extrorse.*

L'anthère est le plus souvent supportée par le filet; celui-ci peut être attaché à la base de l'anthère, et alors on la dit *basifixe;* s'il est attaché à la partie moyenne, elle est dite *médiifixe ;* enfin, lorsque le filet s'attache à la partie supérieure de l'anthère, on la dit *apicifixe.*

La forme des anthères offre un grand nombre de modifications, qui les font appeler : *sphéroïdales*, *didymes*, *ovoïdales*, *oblongues*, *linéaires*, *sagittées*, *cordiformes*, etc.

Les anthères peuvent être soudées, entre elles, de manière à former une sorte de tube. La famille des *synanthérées* présente cette disposition.

La structure anatomique des anthères a été étudiée récemment par le docteur Purkinje. D'après lui, chaque loge de l'anthère se compose d'une membrane extérieure, prolongement de l'épiderme général qui revêt toutes les autres parties du végétal; on peut la nommer *exothèque*. La face interne ou l'*endothèque*, examinée au moyen d'une lentille, présente une couche de cellules séparées par des fibres très fines, et qui paraissent élastiques, l'auteur les nomme *cellules fibreuses*. Ces cellules, de formes très variées, ont cela de remarquable que souvent elles ont une forme très analogue dans les plantes d'une même famille naturelle : ainsi elles sont rectangulaires, perpendiculaires au raphé, et offrent des fibres élastiques, courtes, droites, placées sur leurs côtés et implantées à la manière de clous. Dans les graminées, au contraire, elles sont cylindriques, distinctes, marquées de fibres annulaires, transversales dans les cypéracées.

Les fibres forment la partie essentielle de cet organe; car c'est par elles que se fait la dispersion du pollen, en raison de leur élasticité, qui non seulement tend à rompre la suture de chaque loge, mais encore à étaler les valves et à repousser le pollen.

C. Du pollen.

Le *pollen*, ou *poussière fécondante*, est la substance contenue dans les loges de l'anthère et l'agent essentiel de la fécondation. Selon M. Guillemin, vu à l'aide du microscope achromatique de M. Selligue, il se présente sous forme de très petits grains qui ne sont que des utricules de forme variée sans adhérence dans l'anthère à l'époque de la maturité. La membrane utriculaire est tantôt lisse, tantôt marquée d'éminences ou d'aspérités, etc. Quand le pollen est lisse, il n'est recouvert d'aucun enduit visqueux, tandis que les moindres éminences sont des indices de viscosité : de là deux espèces de pollens : les pollens *visqueux* et les pollens *non visqueux*. Il est à remarquer que jamais la même famille n'offre à la fois les deux espèces; ainsi les familles des *malvacées*, *convolvulacées*, etc., renferment des pollens visqueux. Les *solanées*, les caryophyllées, les graminées, etc., possèdent, au contraire, des pollens non visqueux. Les pollens offrent encore des formes assez variées; ainsi les uns

sont sphériques, les autres sont elliptiques, ou cycloïdes, ou polyédriques, etc. Lorsqu'on les met en contact avec de l'eau, ils se gonflent, s'arrondissent, puis éclatent plus ou moins promptement en lançant au dehors un liquide plus dense que l'eau, et dans lequel se meuvent une infinité de petits grains de couleur verdâtre. Selon M. Brongniart, chaque grain pollinique se compose de deux membranes, l'une externe et l'autre interne. Par l'action de l'eau, la membrane interne se gonfle, l'externe se rompt dans un ou plusieurs points de son étendue, et à travers chacune de ces ouvertures sort un prolongement tubuleux, qui forme une sorte de hernie dans laquelle se trouvent les petits grains verdâtres dont nous avons parlé et qu'on nomme *granules polliniques* ou *fovilla*. Mise dans l'eau, cette fovilla jouit de la propriété de se mouvoir en tous sens avec une rapidité remarquable, ce qui l'a fait comparer aux animalcules qui existent dans la semence du mâle des animaux.

Projeté sur des charbons ardents, le pollen brûle et s'enflamme avec rapidité. Celui de beaucoup de végétaux exhale une odeur très analogue à celle du sperme des animaux.

§ 2. *Du pistil.*

Cet organe, ordinairement situé au centre de la fleur, se compose de trois parties : l'*ovaire*, le *style* et le *stigmate*. Il est le plus souvent simple; cependant les *rosacées*, les *renonculacées*, etc., en offrent plusieurs réunis dans la même fleur. Quelquefois il est attaché à un prolongement particulier du réceptacle, que l'on nomme *gynophore*, d'autres fois il est porté sur un rétrécissement de la base de l'ovaire auquel on donne le nom de *podogyne*. Le gynophore est quelquefois susceptible de devenir épais et charnu, comme dans le *fraisier*, etc.

A. De l'ovaire.

L'ovaire, qui forme toujours la partie inférieure du pistil, est ordinairement ovoïde, et divisé en une ou plusieurs cavités nommées *loges*, dans lesquelles sont contenus les *ovules* ou rudiments des graines. La position de l'ovaire, par rapport aux autres organes floraux, fournit des caractères qui servent à la coordination des genres dans les familles naturelles. Le plus souvent sa base correspond au point du réceptacle où s'attachent les étamines et

les enveloppes florales, sans que celles-ci contractent d'adhérences avec lui; il est alors *libre* ou *supère*. Souvent, au contraire, il ne paraît plus au fond de la fleur; mais faisant corps par sa périphérie avec le tube du calice, il paraît placé entièrement au-dessous du point d'insertion des autres parties; il est alors appelé *adhérent* ou *infère*. Dans ce cas, le calice est toujours monosépale, et cette position exclut absolument la multiplicité des pistils dans la même fleur.

Il arrive quelquefois que l'ovaire n'est pas entièrement soudé avec le tube du calice, et qu'il est libre dans son tiers ou environ sa moitié supérieure (saxifraga) : plusieurs botanistes l'ont désigné sous le nom d'ovaire *demi-infère*. Dans quelques cas, plusieurs pistils réunis dans une fleur sont attachés à la paroi interne d'un calice très resserré à sa partie supérieure, de sorte qu'au premier coup-d'œil, l'ovaire paraît infère : M. Richard leur donne le nom d'*ovaires pariétaux*. L'ovaire peut être : *sessile*, quand il n'est élevé par aucun support particulier; *stipité*, quand il est porté par un podogyne très allongé. Enfin on lui donne différents noms selon le nombre de ses loges et des ovules qui y sont contenus, et aussi selon les formes qu'il présente.

Chaque loge d'une ovaire multiloculaire doit être considérée comme une partie distincte que l'on nomme *carpelle*. L'ovaire biloculaire résulte alors de la soudure de deux carpelles formant un seul et même ovaire. Il en est absolument de même lorsqu'il y a trois, quatre, cinq, etc., loges. C'est qu'il se passe ici un phénomène analogue à celui par lequel les pétales se soudent pour former une corolle gamopétale.

B. Du style.

Le *style* est un petit corps filiforme, prolongement du sommet de l'ovaire et qui sert de support au stigmate. Presque toujours il occupe le point le plus élevé, ou le sommet *géométrique* de l'ovaire; quelquefois il naît d'une des parties latérales (daphné), ou de sa base (alchiemilla vulgaris). D'autres fois il repose sur le réceptacle (borraginées).

Dans quelques cas, le style n'existe pas, et alors le stigmate immédiatement porté par l'ovaire est appelé *sessile*. Souvent l'ovaire peut être surmonté d'un, de deux, de trois styles, etc., pendant que quelquefois il n'existe qu'un seul style pour plusieurs ovaires (apocynées). Dans certaines plantes, il offre plusieurs

divisions plus ou moins profondes (*glaïeul*, *mauve*, etc.). Lorsque le style tombe après la fécondation, il est *caduc* (*cerisier*); dans le cas contraire, il est *persistant* (*buis*); enfin il est accresseut lorsqu'il persiste et s'accroît après la fécondation (les clématites, les pulsatilles).

Sa forme, sa longueur, sa direction, etc., variant beaucoup, lui font donner différents autres noms.

C. Du stigmate.

Le stigmate est cette partie qui est placée au sommet du style et destinée à recevoir la matière fécondante. Il paraît être de nature glandulaire, et sa surface est en général plus ou moins inégale et visqueuse. Le nombre des stigmates est toujours aussi grand que celui des styles ou des divisions du style. Lui-même peut être divisé en un nombre plus ou moins grand de parties. Il présente aussi une foule de différences, soit dans son insertion, soit dans sa forme, dans la substance dont il est composé, dans sa direction et enfin dans sa superficie.

Telles sont, en général, les différents organes de la floraison. Il en est d'autres, pourtant, dont la présence n'est pas nécessaire à l'existence de la fleur, et qui manquent par conséquent assez souvent : ce sont les *nectaires* et le *disque*.

Les *nectaires* sont des organes qui ne sont pas bien définis. Linnée appelait ainsi toutes les parties de la fleur qui, en raison d'une conformation particulière, ne paraissaient appartenir à aucuns des organes précédents. Aussi a-t-il confondu sous ce nom des organes bien différents les uns des autres, et qui pouvaient être considérés comme des parties mêmes de la fleur. Aujourd'hui on s'accorde à ne donner le nom de *nectaires* qu'à des amas de glandes situées dans la fleur, et qui sont destinées à sécréter un liquide mielleux et souvent sucré.

Le *disque* est une protubérance plus ou moins charnue, de nature glanduleuse, ordinairement jaunâtre, quelquefois verte, placée soit sous l'ovaire, soit sur cet organe, soit sur la paroi interne du calice; ce qui l'a fait distinguer en *hypogyne*, *périgyne*, *épigyne*.

DE LA FÉCONDATION.

La fécondation est un des phénomènes les plus intéressants de la vie végétale, et qui n'a lieu qu'autant que le pistil a reçu l'influence du pollen. A un certain moment, les loges des anthères s'ouvrent et laissent échapper cette poussière fécondante qui vient se fixer sur le stigmate. Celui-ci, ordinairement humide, agit sur le pollen qui se gonfle, s'ouvre, et répand une liqueur séminale, qui, absorbée par les pores du stigmate, est transmise par des vaisseaux conducteurs jusqu'aux ovules qui reçoivent ainsi les principes d'une nouvelle vie. M. Brongniart, qui a fait des observations fort curieuses sur la génération des végétaux, admet que ce n'est que par les espaces intercellulaires du stigmate que le trajet des granules a lieu. Ainsi, dans le potiron, il a vu que les granules spermatiques n'étaient transportés par aucun vaisseau particulier.

Les fleurs hermaphrodites sont, à n'en pas douter, celles dans lesquelles les circonstances sont les plus favorables à la fécondation. Dans les plantes unisexuelles, pour lesquelles le rapprochement des organes ne saurait avoir lieu, les vents et l'air peuvent servir de véhicule au pollen échappé des anthères, et les transporter sur des fleurs femelles. Les insectes mêmes et les papillons, en volant de fleurs en fleurs, concourent souvent à la transmission du pollen.

Il en est des végétaux comme des animaux ; quelquefois il arrive que des especes, appartenant au même genre et à la même famille, sont fécondées l'une par l'autre. Le produit de ces alliances est nommé *hybride*.

Les organes sexuels d'un grand nombre de plantes exécutent des mouvements très sensibles pendant l'émission du pollen. Ainsi, dans la *rue*, les étamines se redressent alternativement, pour venir déposer leur pollen sur le stigmate, et elles se déjettent ensuite en dehors. Beaucoup de plantes aquatiques élèvent peu à peu, à la surface de l'eau, leurs fleurs, qui redescendent dès qu'elles sont fécondées. Le contact immédiat entre les grains polliniques et le stigmate n'est pas toujours nécessaire pour que la fécondation ait lieu. C'est pour expliquer une partie de ces phénomènes que plusieurs botanistes ont admis que la fécondation pouvait quelquefois s'opérer, au moyen seulement

d'une émanation particulière nommée *aura pollinaris*, et douée des mêmes propriétés que le pollen, d'où elle s'échappe.

Lorsque la fécondation est accomplie, la fleur ne tarde pas à perdre son éclat ; la corolle se fane, ses pétales se dessèchent et tombent de même que les étamines, le stigmate et le style pour toujours devenus inutiles; l'ovaire seul persiste, prend de l'accroissement, et finit ainsi par arriver à l'état de fruit, que le calice persistant accompagne quelquefois jusqu'à sa maturité.

Art. II. — DU FRUIT OU DES ORGANES DE LA FRUCTIFICATION.

Le *fruit* n'est autre chose que l'ovaire fécondé et parvenu à son plus grand degré de développement. Il se compose de deux parties essentielles : le *péricarpe* et la *graine*.

DU PÉRICARPE.

Le *péricarpe* est la partie du fruit qui contient les graines : il est formé par les parois mêmes de l'ovaire fécondé, et il existe constamment. Les anciens ont quelquefois révoqué en doute son existence, et ils disaient alors que les graines étaient *nues* comme dans les *labiées*, les *ombellifères*. Aujourd'hui il est parfaitement reconnu qu'il existe toujours.

Sur un des points de sa périphérie, on remarque ordinairement une petite cicatrice, ou des vestiges des styles ou des stigmates, qui déterminent le *sommet organique* du fruit. On donne le nom de *base* à la partie par laquelle le fruit est fixé au réceptacle, et par *axe* on entend une ligne tantôt idéale, tantôt réelle, partant de la base et se prolongeant jusqu'au sommet. Quand il existe matériellement, on lui donne le nom de *columelle*. Cette columelle ou petite colonne sert de point d'appui aux différentes pièces du fruit, et persiste toujours au centre du péricarpe, lorsque les pièces viennent à tomber (ombellifères).

Le péricarpe est toujours formé de trois parties : l'*épicarpe*, le *sarcocarpe* et l'*endocarpe*.

L'*épicarpe* est une membrane mince, souvent transparente, recouvrant extérieurement le péricarpe comme une sorte d'épiderme, et formée, lorsque l'ovaire est infère, par le tube même du calice, dont le parenchyme se confond avec celui du sarco-

carpe : dans ce cas il offre, à une certaine distance du point d'origine du style et du stigmate, un rebord plus ou moins sensible formé par les débris du limbe calicinal.

L'*endocarpe* est une membrane mince, qui revêt intérieurement sa cavité séminifère. Quelquefois il se recouvre à l'extérieur d'une portion plus ou moins grande du sarcocarpe qui s'endurcit, devient osseux, et forme un *noyau* lorsque le fruit ne contient qu'une graine, et des *nucules* lorsqu'il en renferme plusieurs.

Enfin le *sarcocarpe* ou *mésocarpe* est la partie charnue, souvent très développée, qui se trouve entre les deux membranes précédentes. C'est lui qui contient tous les vaisseaux du fruit unis ensemble par du tissu cellulaire plus ou moins abondant. Dans les fruits secs, il paraît ne pas exister.

Le péricarpe est quelquefois d'une seule pièce, et lorsque vient l'époque de la maturité, il s'ouvre soit en se rompant en pièces irrégulières, soit au moyen de trous dont se trouve pourvue sa partie supérieure (anthirrinum), ou par l'écartement de quelques dents situées au sommet comme dans les caryophyllées; le plus souvent il est formé de plusieurs pièces nommées *valves*, qui se séparent entièrement pour livrer passage à la graine. Le nombre des véritables valves est presque toujours le même que celui des loges du péricarpe; mais, dans quelques fruits, chacune se partage en deux pièces, de sorte que leur nombre paraît double.

La cavité intérieure du péricarpe peut être *simple* (papaver somniferum); dans ce cas, le péricarpe est *uniloculaire*. D'autres fois il est divisé en plusieurs compartiments nommés *loges*, et il prend les noms de *biloculaire*, *triloculaire* et *multiloculaire*, selon le nombre de loges qu'il contient. Chacune de ces loges est séparée par une lame verticale nommée *cloison*. On distingue deux sortes de cloisons : celles qu'on appelle *vraies* et les *cloisons fausses*. Les premières sont formées par deux prolongements de l'endocarpe, réunis ensemble par une portion ordinairement fort mince du sarcocarpe, et elles alternent constamment avec les stigmates ou leurs divisions. Les fausses cloisons, au contraire, ont une origine très variable, et l'on doit considérer comme telles toutes celles qui ne seront pas formées comme les précédentes; en outre elles correspondent presque toujours aux stigmates ou à leurs divisions.

On distingue encore les cloisons en *complètes* et en *incomplètes*, selon qu'elles s'étendent intérieurement depuis le haut

de la cavité du péricarpe jusqu'à sa base sans interruption, ou qu'elles sont interrompues dans leur étendue, de manière que les loges ne sont pas entièrement séparées. Le *datura stramonium* offre un fruit dans lequel on peut voir ces deux sortes de loges. Le plus souvent les cloisons sont *longitudinales ;* dans quelques cas, cependant, elles sont *transversales* (cassia fistula).

Une graine, devant recevoir sa nourriture du péricarpe, doit avoir nécessairement quelque point de communication avec lui. Ce point, auquel on donne le nom de *hile* ou *ombilic*, doit être considéré comme la limite précise entre la graine et le péricarpe.

Les graines, renfermées en plus ou moins grand nombre dans la cavité du péricarpe, y sont attachées au moyen d'un corps particulier nommé *placenta* (trophosperme, Rich.). Ce corps est destiné à porter aux graines les éléments nutritifs que fournit le sarcocarpe, à l'aide de vaisseaux qui traversent l'endocarpe, toujours percé dans le point intérieur du péricarpe, où est attaché le trophosperme; quelquefois celui-ci ne porte qu'une seule graine; d'autres fois il en porte un plus grand nombre qui y sont attachées au moyen de prolongements auxquels on donne le nom de *podospermes*, et dont la forme ainsi que les positions varient considérablement.

Ordinairement le trophosperme ou le podosperme se termine au *hile ;* mais quand ils se prolongent au-delà et recouvrent la graine en tout ou en partie, ils prennent le nom d'*arille*, dont la nature et la forme varient tellement qu'il serait bien difficile d'en donner une définition exacte. Dans le *muscadier*, il est très développé, sous forme de membrane épaisse, frangée et d'un rouge clair : c'est lui qui constitue le *macis*. Selon M. Richard[1], jamais l'arille ne se trouve dans les plantes à corolle monopétale.

Lorsque les graines sont mûres, il faut qu'elles puissent sortir du péricarpe d'une manière quelconque. On donne le nom de *déhiscence* à l'action par laquelle un péricarpe s'ouvre naturellement. Les péricarpes vraiment déhiscents sont ceux qui se divisent en un nombre déterminé de *valves*. Les péricarpes qui se rompent en pièces irrégulières et très variables, quant au nombre et à la forme, sont nommés *péricarpes ruptiles*. On distingue trois déhiscences valvaires ; 1° la *déhiscence loculicide*, quand

elle se fait par le milieu des loges, c'est-à-dire que les cloisons répondent à la partie moyenne des valves;

2° La *déhiscence septicide*, lorsqu'elle a lieu entre les cloisons qu'elle partage ordinairement en deux lames;

3° La déhiscence septifrage, si elle s'opère vers la cloison qui reste libre et entière au moment où les valves se séparent.

DE LA GRAINE.

La *graine*, qu'on nomme aussi *semence*, est cette partie d'un fruit parfait contenue dans la cavité du péricarpe et qui renferme le corps qui doit reproduire un nouveau végétal. Elle provient d'un ovule fécondé et présente une base et un sommet. Sa base est cette partie qui correspond au hile, et son sommet celle qui lui est diamétralement opposée. Quand le hile est situé sur un des points du bord de la graine, elle est dite *comprimée*, et alors celle de ses deux faces qui regarde l'axe du péricarpe est appelée *face* proprement dite, pendant que l'autre est appelée *dos*. La graine est *déprimée* lorsque le hile existe sur l'une de ses faces.

Les graines varient beaucoup, quant à leur position et à leur direction, par rapport au péricarpe; ainsi elles sont : *dressées*, quand elles sont fixées par leur extrémité au fond du péricarpe, ou d'une de ses loges (synanthérées); *renversées*, lorsqu'elles sont fixées à la partie supérieure du fruit (ombellifères); *ascendantes*, si le trophosperme étant axillaire ou pariétal, elles dirigent en haut leur sommet (pomme, poire); *suspendues*, lorsque leur sommet est dirigé vers la base du péricarpe; et *péritropes*, quand leur axe rationnel est transversal relativement aux parois du péricarpe.

On reconnaît deux parties dans la graine : l'épisperme et l'amande.

§ I. *De l'épisperme.*

L'*épisperme* ou *tégument propre* (spermoderme de Candolle) est la partie qui enveloppe la graine et qui est presque toujours simple. Quelquefois il est composé de deux membranes, l'une extérieure, souvent dure et solide, que Gœrtner nomme *testa*; l'autre intérieure, plus mince, appelée *tegmen* (ricin).

A la surface de l'épiderme se trouve situé le hyle dont nous avons parlé, vers la partie centrale, où sur l'un de ses côtés on remarque une ouverture fort petite, nommée par M. Turpin *omphalode*, et qui est destinée à livrer passage aux vaisseaux nourriciers qui, partant du trophosperme, se rendent dans le tissu de l'épisperme. Si ce faisceau de vaisseaux se continue quelque temps avant de se ramifier, la ligne plus ou moins saillante qu'il forme reçoit le nom de *vasiducte* ou de *raphé*; et le point intérieur où viennent se terminer ces vaisseaux, celui de *chalaze* ou d'*ombilic interne*. On trouve encore un autre organe perforé, souvent dirigé du côté du stigmate, que M. Turpin a nommé *micropyle* et que l'on considère comme le point par lequel le fluide fécondant arrive à l'embryon.

Dans quelques graines, à quelque distance du hile, on observe un petit renflement en forme de calotte, nommé *embryotége* par Gœrtner, et que M. Mirbel appelle *opercule*; ce petit corps se détache de la graine pendant la germination, pour livrer passage à l'embryon.

L'épiderme n'offre dans son intérieur qu'une seule cavité renfermant rarement plusieurs embryons à la fois. Quelquefois il adhère tellement à l'amande, qu'il est très difficile de l'en séparer.

M. de Candolle considère l'épiderme comme formé de trois parties plus ou moins distinctes, et qui sont: le *test*, partie la plus extérieure; l'*endoplèvre*, partie la plus intérieure; et le *sarcoderme*, partie intermédiaire aux deux précédentes.

§ II. *De l'amande.*

L'amande est la seule partie essentielle de la graine; elle est renfermée dans la cavité de l'épisperme et semble n'avoir aucune communication vasculaire avec lui, à moins que ces deux organes ne soient soudés et confondus. L'amande peut être entièrement formée par l'embryon; d'autres fois, elle contient en outre un corps accessoire nommé *endosperme* par M. Richard (*périsperme* Juss.; *albumen*, *Gœrtn.*).

A. De l'endosperme.

L'*endosperme* est cette partie de l'amande qui entoure l'embryon, et n'a avec lui aucune continuité de tissu ni de vaisseaux.

Il est formé d'une substance blanche ou blanchâtre, composée d'un tissu cellulaire dans les mailles duquel se trouve déposée de la fécule amylacée ou un mucilage épais; il change de nature pendant la germination, acquiert la propriété de se dissoudre dans l'eau, et peut alors servir de nourriture au jeune embryon; il se sépare toujours facilement de ce dernier organe.

La substance qui le forme est susceptible de varier : tantôt il est *sec* et *farineux* (graminées), tantôt *coriace* (ombellifères), d'autres fois *oléagineux* et *charnu* (ricin), ou *corné* (rubiacées), ou *mince* et *membraneux* (labiées).

B. De l'embryon.

L'*embryon* est le corps essentiellement organisé de la graine, et qui contient les principes rudimentaires d'une nouvelle plante. Il n'a de liaison organique avec l'endosperme que pendant son accroissement; mais aussitôt que la graine est mûre, il ne tarde pas à se détacher de ses enveloppes. On l'appelle *épispermique* quand il n'existe pas d'endosperme, et *endospermique* dans le cas contraire. La position qu'il peut occuper par rapport à l'endosperme lui a fait donner le nom d'*intraire*, quand il est entièrement enveloppé par ce dernier (ricin), et d'*extraire*, lorsqu'il est simplement appliqué sur un point de la surface de l'endosperme, et logé dans une petite fossette superficielle (graminées).

L'embryon est essentiellement formé de quatre parties, savoir : du *corps radiculaire*, du *corps cotylédonaire*, de la *gemmule* et de la *tigelle*.

1° Le *corps radiculaire* ou *radicule* constitue celle des extrémités de l'embryon qui doit donner naissance à la racine lors de la germination. Avant cette époque, elle est toujours simple et indivisée; mais quand elle vient à se développer, elle pousse souvent de petits mamelons, qui deviennent autant de filets radiculaires, comme le montrent les graminées. Elle est toujours facile à distinguer des autres parties de l'embryon; lorsque celui-ci est soumis à l'acte de la germination, c'est elle qui sort la première des enveloppes séminales, et tient constamment à se diriger vers le centre de la terre.

La radicule est quelquefois nue, et alors elle prend le nom d'*exorhizes* (la plupart des dicotylédones); d'autres fois elle est entièrement recouverte par une enveloppe particulière, qui se rompt pendant la germination, et reçoit le nom d'*endorhizes*

(la plupart des monocotylédones); enfin, dans certaines plantes, la radicule est soudée et fait corps avec l'endosperme; on les nomme *synorhizes* (conifères, cicadées). Ces caractères qui sont constants ont été proposés par M. Richard, pour établir dans les végétaux trois grandes classes; mais ce mode de division n'a pas été généralement adopté.

2° Le *corps cotylédonaire* est un organe destiné par la nature à favoriser le développement de la jeune plante. On peut remarquer en effet qu'il est épais et charnu lorsqu'il n'existe pas d'endosperme, tandis que dans le cas contraire il est très mince. Il sert donc à remplacer l'endosperme. Ce corps peut être simple ou double: dans le premier cas, l'embryon est *monocotylédone;* dans le second, il est *dicotylédone.* Cependant dans quelques plantes l'embryon paraît présenter trois, quatre, cinq, huit et même dix et douze cotylédons; ce qui a fait proposer le nom de *polycotylédones* pour ces végétaux, nom que plusieurs botanistes n'admettent pas, ne regardant que comme plus ou moins divisés chacun des deux cotylédons. Il arrive quelquefois qu'à l'époque de la germination les cotylédons restent cachés sous terre, et alors ils sont dits *hypogés;* d'autres fois la tigelle, en s'allongeant, les porte au-dessus du sol, et on les appelle *épigés.* Dans ce cas, les cotylédons se transforment presque toujours en deux feuilles qui sont dites *séminales.*

3° La *gemmule* est le petit corps simple ou composé qui naît entre les cotylédons, ou dans la cavité même du cotylédon si celui-ci est unique. Elle est formée par plusieurs petites feuilles plissées diversement sur elles-mêmes, et qui, par leur développement, constituent les feuilles *primordiales.* C'est en un mot le rudiment de toutes les parties qui doivent se développer à l'air extérieur. Quelquefois la gemmule est enveloppée dans une espèce d'étui qu'on nomme *coléoptile.*

4° La *tigelle* est cette partie de l'embryon qui souvent unit la base du corps cotylédonaire avec la radicule, et qui n'existe pas toujours d'une manière bien manifeste. La gemmule et la tigelle constituent par leur ensemble la *plumule* de certains auteurs.

L'extrémité radiculaire forme toujours la base de l'embryon, qui est dit *homotrope*, si la radicule répond au hile; *orthotrope*, quand il est rectiligne; *antitrope*, lorsque l'extrémité cotylédonaire correspond au hile, et que par conséquent sa direction est opposée à celle de la graine; enfin *amphitrope*, quand l'embryon

est tellement recourbé sur lui-même, que ses deux extrémités se rapprochent en se dirigeant vers le hile.

L'*embryon dicotylédoné* présente pour caractères généraux une radicule cylindrique ou conique, nue, saillante, et constituant lors de la germination la véritable racine de la plante; deux cotylédons attachés à la même hauteur sur la tigelle, et dont la consistance et l'épaisseur sont d'autant plus grandes, que l'endosperme est plus mince ou n'existe pas du tout; une gemmule nue, cachée entre les deux cotylédons; enfin une tigelle plus ou moins apparente, mais toujours distincte.

L'*embryon monocotylédoné* est celui qui, avant la germination, ne laisse distinguer aucune des parties qui le constitue. Ce n'est en effet qu'une masse charnue, où toutes les parties sont unies et confondues. Ce n'est qu'après la germination qu'on y remarque une radicule enveloppée ordinairement d'une coléorhize, et qui est tantôt sous la forme d'un simple mamelon, tantôt aplati et large de manière à former la masse la plus considérable de l'embryon, qu'on nomme alors *macropode*. Le cotylédon est unique, sans incision ni fente, de forme très variée, et toujours latéral relativement à la masse totale de l'embryon. Le plus souvent il renferme la gemmule, et lui forme une espèce de coléoptile; celle-ci est le plus ordinairement formée de petites feuilles emboîtées les unes dans les autres, dont la plus extérieure a été nommée *piléole* par M. Mirbel, et qui forme aux autres une espèce d'enveloppe close. Quant à la tigelle, elle n'existe presque jamais, ou se confond avec le cotylédon ou la radicule.

Ces différentes dispositions sont loin d'être générales, et beaucoup de végétaux y forment des exceptions.

CLASSIFICATION DES FRUITS.

Après avoir décrit les différentes parties d'un fruit mûr et parfait, il ne nous reste, pour compléter leur histoire, qu'à donner leur classification. Celle de M. Richard étant plus généralement adoptée, ce sera elle que nous allons rapporter ici.

Les fruits considérés en général doivent être divisés en trois classes principales : ce sont les *fruits simples*, les *fruits multiples* et les *fruits composés*.

Les fruits *simples* sont ceux qui proviennent d'un pistil unique renfermé dans une fleur;

Les fruits *multiples*, ceux qui résultent du développement de plusieurs pistils renfermés dans une même fleur ;

Les fruits *composés* sont formés par la soudure de plusieurs pistils appartenant à des fleurs distinctes.

Suivant la nature de leur péricarpe, on les divise encore en *secs* et en *charnus*, selon qu'ils restent clos ou qu'ils s'ouvrent en un plus ou moins grand nombre de pièces ou valves; ils sont *indéhiscents* ou *déhiscents*; enfin ils sont *oligospermes* ou *polyspermes*, selon que les semences y sont en petit nombre ordinairement déterminé, ou en nombre considérable que l'on ne peut déterminer.

PREMIÈRE CLASSE. — *Fruits simples.*

PREMIÈRE SECTION. — (*Fruits secs.*)

A. Fruits secs et indéhiscents.

Ces fruits sont ordinairement oligospermes, et leur péricarpe est en général mince ou adhère avec la graine : on les considérait autrefois comme des graines nues.

Caryopse. Fruit dont le péricarpe est entièrement confondu avec la graine, et offrant des formes variables (orge, blé, millet).

Akène. Fruit monosperme dont le péricarpe est distinct du tégument propre de la graine, et qui souvent est couronné de soies ou de paillettes que l'on nomme *aigrettes.*

Polakène. Fruit qui, à sa parfaite maturité, peut se séparer en diverses parties dont chacune peut être considérée comme un akène.

Samare. Fruit coriace, membraneux, très comprimé, offrant d'une à cinq loges indéhiscentes, ordinairement élargi latéralement par des ailes.

Gland. Fruit provenant toujours d'un ovaire infère, pluriloculaire et polysperme, dont le péricarpe présente toujours à son sommet les vestiges des dents du calice, et est renfermé en partie ou en totalité dans une sorte d'involucre écailleux ou foliacé, nommé *cupule.*

Carcérule. Fruit sec pluriloculaire, polysperme, indéhiscent (tilleul).

Fruits *gynobasiques*. Ceux dont les loges sont très écartées les unes des autres, et qui semblent constituer autant de fruits séparés, du milieu desquels s'élève le style qui paraît naître immédiatement du disque ou *gynobase*. (labiées, borraginées).

B 2. Fruits secs et déhiscents.

Ces fruits sont le plus souvent polyspermes; on reconnaît :

Le *follicule*, fruit géminé ou solitaire par avortement, membraneux, uniloculaire, univalve, s'ouvrant par une suture longitudinale.

La *silique* allongée, bivalve, ordinairement partagée en deux loges par une fausse cloison parallèle aux valves; les graines y sont portées par deux trophospermes suturaux.

La *silicule* ne diffère de la précédente que parce qu'elle est moins large.

La *gousse* ou *légume*, fruit bivalve dont les graines ne sont attachées qu'à un seul trophosperme qui suit la direction de l'une des sutures. Ce fruit est le plus souvent uniloculaire, mais quelquefois il est divisé par de fausses cloisons en un nombre plus ou moins considérable de loges.

La *pixide* est globuleuse, s'ouvrant transversalement en deux valves hémisphériques superposées (jusquiame).

L'*élatérie* pluriloculaire, souvent relevée en dehors par des côtes saillantes, et se partageant, à l'époque de la maturité, en autant de parties ou *coques*, qu'elle présente de loges.

La *capsule*. On réunit sous ce nom tous les fruits secs et déhiscents qui ne peuvent être rapportés à aucune des six espèces précédentes.

DEUXIÈME SECTION. — (*Fruits charnus*.)

Tous ces fruits sont indéhiscents, munis d'un péricarpe épais et pulpeux, et renfermant un nombre variable de graines. Ce sont :

La *drupe*, fruit charnu renfermant un noyau dans son intérieur, et dont le sarcocarpe est très épais.

La *noix* ne diffère de la précédente que par l'épaisseur moins considérable et la sécheresse de son sarcocarpe que l'on nomme alors *brou*.

Le *nuculaine*, fruit provenant d'un ovaire libre, et contenant dans son intérieur plusieurs petits noyaux nommés *nucules* ou *osselets*.

La *mélonide*, qui résulte de la réunion de plusieurs ovaires pariétaux, soudés avec le tube du calice qui souvent devient charnu et très épais. On la divise en *mélonide à nucules* et en *mélonide à pepins* (pomme).

La *balauste*, fruit pluriloculaire, polysperme, provenant d'un ovaire infère et couronné par les dents du calice (grenade).

La *péponide*, fruit indéhiscent ou ruptile à plusieurs loges éparses dans la pulpe, renfermant chacune une graine tellement soudée avec l'endocarpe, qu'il est très difficile de l'en séparer (cucurbitacées). Souvent on remarque au centre de la péponide une grande cavité produite par le déchirement du parenchyme, et qu'on a, mais à tort, regardée comme une loge.

L'*hespéridie* offre une enveloppe très épaisse et est divisée à l'intérieur en plusieurs loges par des cloisons membraneuses qu'on peut séparer sans causer aucun déchirement (orange, citron).

La *baie*, comprenant tous les fruits charnus, dépourvus de noyaux, qui ne font partie d'aucune espèce précédente. (raisin, groseille).

DEUXIÈME CLASSE. — *Des fruits multiples.*

En général, les fruits *multiples* sont formés par la réunion de divers fruits simples, tel est le fruit de quelques *apocynées*, formés par la réunion de plusieurs follicules; celui des *renonculacées*, formé de plusieurs petits akènes ou cariopses réunis sur un réceptacle.

M. Richard appelle *syncarpe* un fruit multiple provenant de plusieurs ovaires qui ont appartenu à une même fleur, soudés et réunis ensemble, même avant la fécondation (magnolia).

TROISIÈME CLASSE. — *Des fruits agrégés ou composés.*

On reconnaît trois espèces distinctes de fruits agrégés; ce sont :

Le *cône* ou *strobile*, formé d'un nombre plus ou moins grand

d'utricules membraneuses, logées dans l'aisselle de bractées très développées, sèches et disposées en forme de cônes (conifères).

Le *sorose*, fruit résultant de la réunion de plusieurs ovaires soudés en un seul corps à l'aide de leurs enveloppes florales, charnues et entre-greffées de manière à offrir l'aspect d'une baie mamelonnée (mûrier, ananas).

Le *sycône* est formé par un involucre monophylle, charnu à son intérieur, fermé et contenant un grand nombre de petites drupes provenant d'autant de fleurs femelles. (figue).

3° CE QU'ON ENTEND PAR CES MOTS : TISSU VÉGÉTAL. FAIRE CONNAÎTRE LA FORME PRIMITIVE DE CE TISSU, ET LES PRINCIPALES MODIFICATIONS QUE SOUVENT IL ÉPROUVE EN VIEILLISSANT.

Maintenant que nous venons d'étudier et de définir les différents organes que le végétal est susceptible de présenter, nous allons étudier sa structure anatomique en général. Et d'abord si l'on examine à l'œil nu, et mieux à travers un microscope, l'organisation intérieure d'un végétal, on voit qu'il est composé de cellules à parois minces et diaphanes, d'une extrême petitesse, tantôt régulières, tantôt irrégulières, et de tubes ou vaisseaux cylindriques, épars ou réunis en faisceaux. Ces deux formes élémentaires qui composent les végétaux ont été nommées *tissu cellulaire* et *tissu vasculaire*. Ce sont elles qui, modifiées de différentes manières et réunies convenablement, constituent ce qu'on doit entendre par *tissu végétal*.

DU TISSU CELLULAIRE.

Ce tissu est composé d'un assemblage de cellules contiguës les unes aux autres, à parois minces, transparentes et percées de pores ou même de fentes par lesquels les cellules communiquent entre elles. Leur forme est variable selon les résistances qu'elles éprouvent lorsque leur développement se fait librement, comme dans la moelle, les fruits charnus, etc.; elles sont ordinairement hexagonales; elles s'allongent, au contraire, en forme de prismes hexaèdres lorsqu'elles sont comprimées. Ces cellules peuvent être isolées les unes des autres, et chacune d'elles formant une petite vésicule à parois distinctes; de sorte que, contrairement à ce qu'avaient pensé plusieurs botanistes, là où deux cellules sont

contiguës, la membrane qui les sépare est formée de deux lames séparables. Les utricules de ce tissu contiennent dans leur intérieur des corpuscules ovoïdes, ordinairement verts, qu'on nomme *globulines;* ceux-ci sont eux-mêmes de petites vésicules renfermant d'autres petits grains nommés *globulins*, qui, à leur tour, par une croissance progressive, rompent la vésicule qui les renfermait, deviennent autant de petites vésicules contenant d'autres granules qui se développent comme les précédents; de là un mode d'accroissement du tissu cellulaire. M. Mirbel, en étudiant l'organisation du *marchantia*, est parvenu à découvrir un autre mode d'accroissement; il en résulte que ce n'est pas là le seul moyen de multiplication ou de formation du tissu cellulaire que la nature emploie; on peut les rapporter à trois types différents: 1° les nouvelles cellules peuvent se développer à la surface extérieure et libre des cellules déjà formées; on appelle cette formation *extra-utriculaire*, comme dans le *marchantia;* 2° les cellules peuvent prendre naissance entre des utricules déjà existantes; on l'appelle *inter-utriculaire.* Enfin de la paroi interne de chaque utricule peuvent naître un grand nombre d'autres utricules qui finissent par absorber et faire disparaître l'utricule-mère dans laquelle elles se sont développées; on la nomme formation *intra-utriculaire*.

Dans les parties ligneuses, les cellules sont fort allongées, et forment des espèces de petits tubes parallèles entre eux. Leur parois sont opaques, épaissies, et dans quelques cas oblitérées entièrement; on le nomme *tissu allongé* ou *prosenchyme*. Lorsque ces petits tubes sont fusiformes, c'est-à-dire amincis insensiblement à leurs deux extrémités, ils prennent le nom de *clostres.* Toutes ces cellules du tissu allongé ne peuvent se toucher que par les points les plus gonflés, d'où résultent entre eux des intervalles vides qu'on appelle *méats.* C'est dans ces méats, ou quelquefois dans les cellules de quelques végétaux à tissu lâche, que l'on trouve des corpuscules en forme d'aiguilles, que M. de Candolle appelle *raphides*, et qui y sont ordinairement réunis en faisceaux. M. Raspail les regarde comme des cristaux très fins d'oxalate de chaux.

On trouve encore une autre modification de ce tissu allongé. Ce sont des cellules fort petites, allongées et placées horizontalement sous formes de lignes. Celles-ci, partant de la moelle, et arrivant en divergeant jusqu'à la circonférence, semblent n'être

que les appendices de la moelle; aussi leur a-t-on donné le nom de *rayons médullaires*.

Le tissu cellulaire offre une consistance faible, et se déchire aisément par l'effet de l'accroissement de la plante; il en résulte souvent des espaces vides plus ou moins grands et remplis d'air. Ces espaces, que l'on nomme *lacunes*, s'observent particulièrement dans les plantes aquatiques.

DU TISSU VASCULAIRE.

Ce tissu se compose de lames de tissu cellulaire roulées sur elles-mêmes de manière à former des tubes, ou de cellules plus ou moins allongées, placées bout à bout, et dont les diaphragmes ont souvent disparu. Ce sont eux qui, parcourant les différentes parties du végétal, y portent l'air et les fluides nécessaires à son existence. Ces canaux s'unissent par de fréquentes anastomoses, et constituent ainsi le réseau vasculaire. Leur calibre est le plus souvent cylindrique, quelquefois ovale ou anguleux; leurs parois sont peu transparentes, d'une certaine épaisseur, et plus résistantes que les lames du tissu cellulaire qui les forment. Ils sont toujours disposés dans le sens de l'axe de la plante. Ces vaisseaux offrent sept modifications principales :

1° Les *vaisseaux en chapelet* ou *moniliformes* sont des tubes poreux, resserrés de distance en distance, et coupés de diaphragmes percés de petits trous. Selon plusieurs anatomistes, ces diaphragmes n'existeraient pas. On les rencontre principalement au point de jonction de la racine et de la tige, de la tige et des branches, etc. Ils sont simples ou rameux, et servent, selon M. Mirbel, à faire passer la sève des gros vaisseaux de la tige dans ceux des branches.

2° Les *vaisseaux ponctués* ou *poreux* représentent des tubes continus, offrant un grand nombre de pores disposés régulièrement par lignes transversales. Ces vaisseaux s'anastomosent fréquemment entre eux, et s'observent dans les racines, les nervures des feuilles, et dans toutes les parties où la sève circule aisément, selon M. Mirbel.

3° Les *vaisseaux fendus*, *annulaires*, *fendus*, *rayés* ou *fausses trachées*, sont des tubes coupés de fentes transversales. Ce sont, de même que les trachées, les principaux canaux de la sève dans toutes les parties du végétal; on les observe très bien dans le

bois dont le tissu est lâche et mou, en particulier dans la *balsamine des jardins.*

4° Les *trachées* sont des tubes formés par une lame argentine, transparente et élastique, roulée en spirale, et dont les bords se touchent exactement, sans cependant contracter d'adhérence. Ces vaisseaux paraissent isolés dans le tissu du végétal, et se remarquent surtout dans les jeunes pousses, soit autour de la moelle, soit au centre des filets ligneux.

5° Les *vaisseaux mixtes* sont ceux qui, dans les différents points de leur trajet, présentent alternativement la structure des vaisseaux *moniliformes poreux*, *fendus* ou des *trachées.*

6° Les *vaisseaux propres*, ou *réservoir des sucs propres*, sont des tubes courts non poreux, remplis d'un suc qui est particulier à chaque espèce de végétal. M. de Candolle en admet cinq espèces; savoir : les *réservoirs vésiculaires*, en *cœcum*, *tubuleux*, *fasciculaires* et *accidentels.* Ces vaisseaux se trouvent dans l'écorce, la moelle, les fleurs, etc.

7° Les *vaisseaux simples* ou *séveux* sont des tubes dont le volume varie, et qui ont des parois minces, opaques et non poreuses; ils sont souvent ramifiés et anastomosés entre eux, et servent à la circulation de la sève.

Ces différents vaisseaux se réunissent fréquemment entre eux pour former des faisceaux allongés, soudés par du tissu cellulaire et connus sous le nom de *fibres*, par opposition avec la partie molle, composée presque entièrement du tissu cellulaire, qu'on appelle *parenchyme.*

L'origine de tous ces vaisseaux a été très long-temps un point de discussion, sur lequel les botanistes ne pouvaient tomber d'accord. Ce n'est que dans ces derniers temps que M. Mirbel, dans son travail sur le développement du *marchantia*, a porté quelque lumière sur ce point obscur de la physiologie végétale. Selon lui, très probablement les différents vaisseaux ou tubes, qu'on observe dans les plantes, ont eu pour point de départ une origine commune, une *utricule.* Cette utricule ne diffère en rien de toutes celles au milieu desquelles elle est placée, et cependant, par le développement, par l'âge, elle se transforme de tant de manières, qu'il admet que toutes les utricules, bien que semblables, ne jouissent pas absolument des mêmes propriétés; qu'il en est quelques unes qui, sans qu'on puisse le reconnaître par aucun caractère extérieur, ont la faculté de pouvoir se modifier sous l'influence de certaines causes, et même de changer entière-

ment de nature. Ainsi la cellule, qui jouit de la propriété de pouvoir devenir un tube fendu ou une trachée, n'offre rien à l'extérieur qui la distingue des autres. Cette utricule, une fois qu'elle a éprouvé les modifications nouvelles dont elle est susceptible, s'accroît avec ses nouveaux caractères, comme toutes les autres parties de la plante, par suite de l'assimilation des matériaux que lui fournit la nutrition.

En outre, on trouve dans presque tous les plantes des poils et des glandes.

Les *glandes* sont des organes formés par un tissu cellulaire très fin, dans lequel se ramifient un grand nombre de vaisseaux. Elles sont spécialement destinées à séparer de la masse des liquides un fluide particulier à chaque végétal. Elles ont, par leur usage et leur structure, la plus grande analogie avec celles des animaux. Leur structure et leur forme varient beaucoup ; ce qui en fait distinguer les glandes *vésiculaires*, *globulaires*, *utriculaires*, *papillaires*, etc.

Les *poils* sont des organes filamenteux plus ou moins déliés, et qui paraissent servir à l'exhalation et à l'absorption. Souvent ils ne sont autre chose que les canaux excréteurs des glandes sur lesquelles ils sont placés. Peu de plantes sont dépourvues de poils : on les remarque surtout sur celles qui vivent dans les lieux secs et arides ; ils paraissent alors servir à augmenter l'étendue de la surface absorbante. Quand les poils se trouvent en grand nombre sur un organe, on le dit *pubescent*. La forme des poils varie beaucoup, ce qui les a fait nommer *simples*, *rameux*, *capités*, *en goupillon*, etc. Ils sont généralement formés de cellules plus ou moins allongées, ou de plusieurs cellules placées bout à bout, ou enfin d'un nombre plus ou moins grand de cellules diversement groupées.

4° COMMENT, DANS LA GÉNÉRALITÉ DES ESPÈCES, IL EXISTE UN CERTAIN ACCORD PLUS OU MOINS SENSIBLE, ENTRE LA RÉPARTITION DES DIVERSES MODIFICATIONS DU TISSU ET LES GRANDES DIVISONS ADMISES PAR TOUS LES PHYTOLOGISTES, DE VÉGÉTAUX ACOTYLÉDONES, MONOCOTYLÉDONES ET DICOTYLÉDONES, DE SORTE QUE, POUR L'ORDINAIRE, ON PEUT RECONNAITRE A LAQUELLE DE CES TROIS DIVISIONS APPARTIENT UNE ESPÈCE, PAR LA SEULE INSPECTION DE SA STRUCTURE INTERNE.

Lorsqu'on vient à rechercher les différents rapports qu'il y a dans les diverses modifications du tissu des trois grandes divisions

des végétaux, on trouve que, sauf la série des acotylédones, tous les végétaux contiennent les mêmes modifications de tissu; mais ce tissu y est disposé de telle manière qu'il suffit de jeter un coup d'œil sur la structure interne d'un végétal pour reconnaître à laquelle des trois grandes divisions il peut appartenir. Considérons d'abord la tige des dicotylédones : nous voyons dans sa coupe transversale une disposition de parties en couches concentriques formées en allant de la circonférence au centre de l'*épiderme*, de l'*enveloppe herbacée*, des *couches corticales*, du *liber*, de l'*aubier*, du *bois*, de l'*étui médullaire* et de la *moelle*. Nous en avons parlé en traitant des tiges en général. D'un autre côté, les nervures qui composent les feuilles sont ordinairement ramifiées et anastomosées.

Si, au contraire, nous coupons transversalement une tige de monocotylédones, nous la voyons formée d'une masse de tissu cellulaire, dans laquelle se trouvent épars des faisceaux vasculaires. Un caractère non moins essentiel, c'est que, dans celles-ci, les parties ou couches les plus dures sont à la circonférence, tandis que dans les plantes dicotylédones les couches les plus dures se trouvent à l'intérieur; ainsi rien de semblable dans la tige. Si nous passons à l'examen de la disposition des parties fibreuses dans les feuilles de ces plantes, nous trouvons encore une différence très grande : en effet, les fibres ne sont disposées que parallèlement, tandis qu'elles sont diversement ramifiées dans les dicotylédones.

Quant aux plantes acotylédones, il sera toujours très facile de les distinguer au premier abord, ces plantes n'étant composées que d'un seul élément anatomique, le tissu cellulaire : de là le nom de végétaux *cellulaires* que leur donne M. de Candolle, par opposition à celui de végétaux *vasculaires* qu'il donne aux phanérogames, c'est-à-dire aux monocotylédones et aux dicotylédones.

5° DIRE CE QUE L'ON SAIT TOUCHANT LES PRINCIPAUX PHÉNOMÈNES DE LA VIE VÉGÉTALE, TELS QUE L'ABSORPTION, LA TRANSPIRATION, LA RESPIRATION, LE MOUVEMENT ET L'ÉLABORATION DES FLUIDES, LA NUTRITION, L'ACCROISSEMENT DE PARTIES ANCIENNES, L'APPARITION DE PARTIES NOUVELLES, LA FORMATION DES OVULES AVEC OU SANS LE CONCOURS DE LA FÉCONDATION, LA GESTATION DURANT LAQUELLE L'OVULE FÉCONDÉ PASSE A L'ÉTAT DE GRAINE, LA GERMINATION, LA TENDANCE DES RACINES VERS LE CENTRE DE LA TERRE ET DES TIGES VERS LE CIEL, LES MALADIES, LA MORT, etc.

Nous allons dans cette section étudier les principaux phénomènes qui président à la vie végétale, tels que la nutrition, la formation des ovules, la germination, etc.

DE LA NUTRITION.

La nutrition est cette fonction par laquelle les végétaux s'assimilent une partie des substances solides, liquides, ou gazeuses qu'elles puisent au sein de la terre ou au milieu de l'atmosphère, et qu'ils absorbent soit par leurs radicelles les plus déliées, soit au moyen de leurs parties vertes. Cette grande fonction résulte de l'accomplissement d'actes secondaires qui sont l'absorption, la transpiration, l'expiration et l'excrétion que nous allons étudier successivement, ainsi que la marche des sucs nourriciers.

§ I. *De l'absorption ou succion.*

L'absorption est l'acte par lequel les plantes aspirent les matériaux nécessaires à leur existence. Cette fonction s'exerce dans la terre par les extrémités capillaires des racines, qui offrent en cet endroit de petits renflèments composés de tissu cellulaire, et qui portent le nom de *spongioles*, et dans l'atmosphère au moyen des parties vertes, telles que feuilles, jeunes branches, etc.

Lorsque l'on vient à rechercher la composition élémentaire d'un végétal, on le trouve composé de carbone, d'hydrogène, d'oxigène, d'un peu d'azote et de quelques autres substances qui ne font pas partie essentielle de leur organisation; tels sont le

fer, la chaux, la silice, etc. Voyons la manière dont ces différents matériaux y ont été portés.

L'eau est, sans contredit, le principal agent de l'introduction des aliments dans la plante; elle les dissout et les rend ainsi plus aptes à l'absorption. Le *carbone*, très rare et insoluble, ne peut être porté dans la plante par le secours de l'eau; mais à l'état d'acide carbonique il est assez commun et soluble dans l'eau. C'est donc à cet état qu'il est absorbé; et comme les végétaux, exposés à la lumière, décomposent l'acide carbonique, s'approprient le carbone et rejettent l'oxigène, plus de doute que c'est ainsi que s'explique dans les végétaux la présence de ce corps. Remarquons pourtant que tout l'*oxigène* de l'acide carbonique n'est pas rejeté, et qu'il concourt, ainsi que celui d'une certaine quantité d'eau et d'air, à donner au végétal celui qui est nécessaire à sa composition. Quant à la présence de l'hydrogène, elle s'explique par la décomposition de l'eau dans l'intérieur du végétal. L'azote provient évidemment aussi de la décomposition de l'air dans l'intérieur de la plante.

Toutes les autres substances que l'on trouve dans les plantes y arrivent toutes formées, et y ont été charriées par l'eau qui les entraîne en dissolution. C'est donc à tort que quelques physiologistes ont admis qu'elles se formaient pendant l'acte de la végétation.

Pour démontrer avec quelle force prodigieuse l'absorption se fait dans les racines et dans les branches, il suffit de rapporter la belle expérience de Hales. Ce physiologiste, ayant coupé un cep de vigne sans rameaux, d'environ sept à huit lignes de diamètre, et trente-trois pouces au-dessus de la terre, y adapta un tube à double courbure, qu'il remplit de mercure. La sève de la vigne eut la force de soulever en peu de jours la colonne de mercure jusqu'à trente-deux pouces et demi au-dessus de son niveau.

§ II. *De la marche de la sève.*

La *sève* ou *lymphe* est un liquide incolore, essentiellement aqueux, tenant en dissolution les matériaux nutritifs du végétal. Les anciens pensaient que la sève s'élevait par la moelle ou par l'écorce; mais les expériences de Duhamel et d'autres botanistes ont prouvé que cette ascension a lieu par les vaisseaux du corps ligneux et surtout par ceux qui avoisinent le plus l'étui médullaire; en outre il se répand du centre à la circonférence, soit par les

anastomoses des vaisseaux qui le contiennent, soit par les pores dont ils sont percés.

Les premières expériences directes sur le mouvement des fluides dans l'intérieur du tissu végétal furent faites par Corti, sur le *chara* et le *caulinia fragilis*. Il en tira les conséquences suivantes : 1° chaque cellule de la plante offre un mouvement particulier du suc; 2° la circulation dans une cellule est indépendante de celle qui a lieu dans les autres cellules; 3° le courant du fluide tourne sans cesse le long de la face interne des parois cellulaires; 4° la direction de ce courant est invariable; 5° le cours des sucs a lieu dans toutes les cellules suivant le même ordre.

Depuis, MM. Schultz et Amici se sont livrés à de nouvelles recherches sur le même sujet. Selon M. Amici chaque cavité du tissu cellulaire constitue un organe distinct, et c'est dans son intérieur que le fluide se meut en tournoyant, indépendamment de la circulation particulière qui a lieu dans chacune des cavités adjacentes. Ce mouvement peut être aperçu en raison des particules solides qui nagent dans ce fluide. On peut voir à l'aide d'un excellent microscope que ces particules, qui sont des globules d'une ténuité extrême, et quelquefois colorés en vert très prononcé, remontent le long d'une des parois de la cavité; arrivées vers le diaphragme horizontal qui sépare cette cellule de celle qui lui est superposée, elles changent de direction, suivent un cours horizontal jusqu'à ce qu'atteignant la paroi opposée elles descendent, en la suivant jusqu'à la partie inférieure, où leur cours redevient horizontal pour recommencer ensuite la même marche. On remarque que la direction du mouvement de chaque vaisseau ne semble avoir aucun rapport avec celle qui s'exécute dans les tubes circonvoisins. Selon M. Amici, on ne voit aucun globule passer d'une cavité dans une autre.

M. Schultz, par des espériences plus récentes, a vu que dans la *chélidoine*, ainsi que dans la plupart des végétaux à sucs colorés, on peut apercevoir le mouvement progressif qu'exécute la sève dans les vaisseaux qui la contiennent. Selon lui, lorsqu'on enlève l'épiderme sur un fragment d'une jeune feuille ou d'une stipule de figuier, en particulier du *ficus elastica*, on met à nu les vaisseaux. Si l'on examine alors cette partie, on voit dans les vaisseaux séveux, qui forment en général des faisceaux grêles à côté des trachées, le fluide circulatoire se mouvoir avec une rapidité plus ou moins grande, selon l'état de la chaleur atmosphéri-

que. Dans un même faisceau, on remarque souvent deux courants en sens opposés, c'est-à-dire un vaisseau où le fluide est ascendant, et un autre dans lequel il est descendant. On voit aussi quelquefois des anastomoses qui servent à établir la communication entre deux vaissseaux voisins, et par lesquels le fluide de l'un passe dans l'autre. Ces faits prouvent que dans les végétaux le mouvement du fluide nourricier offre une très grande analogie avec la circulation du sang dans les animaux ; car ce n'est point un simple mouvement ascensionnel. Mais cette circulation végétale diffère de celle des animaux, du moins de ceux d'un ordre supérieur, par l'absence d'un centre commun, qui soit l'agent d'impulsion qui communique le mouvement à toute la masse du fluide.

On a émis une foule d'hypothèses pour expliquer le mouvement du fluide dans le végétal, mais aucune ne satisfait entièrement l'esprit. Nous allons rapporter les principales. M. de Saussure pense qu'il est dû à l'irritabilité dont est douée la membrane qui forme les tubes. M. Amici pense que la force motrice du fluide existe dans les petits grains verts ou transparents, tapissant les parois des tubes où ils sont disposés par rangées ou chapelets, et qui, par une action analogue à celle des piles voltaïques, impriment au fluide son mouvement. Un grand nombre ont comparé la marche de la sève, dans le tissu végétal, à l'ascension des liquides dans les tubes capillaires. Toutes ces hypothèses sont loin d'expliquer parfaitement la cause de ce phénomène, et il faut plutôt l'attribuer à une force vitale particulière. Cependant il faut reconnaître que plusieurs circonstances, telles que la chaleur, l'électricité, etc., favorisent cette fonction.

Dans ces derniers temps, M. Dutrochet a essayé d'expliquer d'une autre manière l'ascension de la sève. Ayant reconnu que, toutes les fois que deux liquides de densité différente sont séparés par une membrane organisée, soit végétale, soit animale, il s'établit entre eux un courant qui fait que le moins dense, attiré par celui qui l'est davantage, tend à traverser la membrane pour se porter vers lui, il en déduit que la marche de la sève doit être le résultat de cette force particulière qu'il nomme *endosmose*, quand le liquide le plus dense se trouve contenu dans la membrane, et alors le liquide moins dense, pour se porter vers le premier, distend la membrane qui alors devient *turgide*, selon M. Dutrochet. Il donne, au contraire, le nom d'*exosmose* au phénomène par lequel le liquide moins dense, étant renfermé dans la

membrane, la traverse pour se réunir au liquide plus dense, dans lequel plonge la membrane.

La formation de la sève a lieu à deux époques différentes de l'année, au printemps et vers le mois d'août. Lorsque la sève, après avoir parcouru tous les organes, est parvenue dans les parties herbacées, elle se trouve mise en communication avec l'atmosphère, se décompose, perd l'air qu'elle contenait, la plus grande partie de son eau et les autres substances qui sont devenues inutiles à la nutrition. C'est alors que, réduite à la condition de *sucs propres*, elle redescend des feuilles vers la racine en suivant une route inverse à celle qu'elle avait d'abord parcourue. Elle prend alors le nom de *suc particulier*, de *sève descendante*, ou mieux de *suc nourricier*, c'est le *cambium* de Grew et Duhamel. La nature de ce liquide n'est pas la même dans tous les végétaux : chez quelques uns il est blanc et laiteux; chez d'autres brunâtre ou jaunâtre ; chez quelques autres enfin, il est balsamique et résineux. Quant à sa marche, elle a lieu dans les dicotylédons, le long de l'écorce et de l'aubier, et c'est alors que se forment les nouvelles couches (voyez *Accroissement des tiges dicotylédones*); dans les monocotylédones, sa marche n'est pas très bien connue : on pense généralement que le suc passe dans l'intérieur de la tige, là où se produit le développement des filets ligneux.

§ III. *De la transpiration.*

La transpiration est cette fonction par laquelle la sève, parvenue dans les parties vertes du végétal, perd la partie surabondante de l'eau qu'elle contenait. Quand la transpiration est considérable, et si la température est peu élevée, cette eau se répand sur les feuilles en y formant des gouttelettes. Lorsqu'au contraire la température est un peu chaude, elle se vaporise et est absorbée par l'air ambiant. Hales, par l'expérience suivante, conclut que la transpiration était favorisée par un air sec et chaud, et qu'au contraire elle était faible pendant les nuits fraîches et humides : un pied d'*helianthus annuus*, qui, terme moyen, perdrait une vingtaine d'onces pendant douze heures du jour, pourrait en transpirer jusqu'à trente onces dans le même espace de temps, celui-ci étant chaud et bien sec. Selon Senebier, la quantité d'eau exhalée est à celle absorbée par le végétal comme 2 à 3.

§ IV. *De l'expiration.*

Les végétaux, comme les animaux, sont soumis à une sorte de respiration qui se compose de l'inspiration ou absorption et de l'expiration. Il ne nous reste à parler que de cette dernière fonction.

Par *expiration* ou *émanation gazeuse* on comprend le dégagement de tous les fluides que le végétal n'a pas décomposés pour son alimentation. La lumière et la coloration des parties exercent une grande influence sur les résultats de ce phénomène. Ainsi, les parties vertes, soumises à l'action de la lumière, dégagent beaucoup d'oxigène, tandis que dans l'obscurité elles n'expirent que de l'azote et de l'acide carbonique. Toutes les parties végétales qui n'offrent pas la couleur verte ne dégagent que de l'acide carbonique, et jamais d'oxigène, lors même qu'elles sont exposées à la lumière. Presque toutes les plantes vieilles ou malades n'expirent que de l'azote pur.

§ V. *De l'excrétion.*

On nomme ainsi la fonction par laquelle certains liquides, plus ou moins épais, de différente nature, susceptibles de se condenser et de se solidifier, sont rejetés au dehors par la force de la végétation, et par l'intermédiaire des glandes, des nectaires, des feuilles, etc. La nature de ces excrétions est assez variée; ce sont tantôt des résines, tantôt des gommes, des liqueurs sucrées, de la manne, de la cire, etc. Les racines sont aussi susceptibles de déperditions, mais à un degré moindre, soit parce qu'elles offrent moins de surface que les feuilles, soit à cause de l'humidité du milieu dans lequel elles sont placées.

DE LA FORMATION DES OVULES ET DE LA GESTATION DURANT LAQUELLE L'OVULE FÉCONDÉ PASSE A L'ÉTAT DE GRAINE.

L'*ovule*, ou le corps qui, après la fécondation, doit contenir l'embryon, présente dans son développement des phénomènes très remarquables. Nous ne reviendrons pas sur la fécondation, en ayant suffisamment parlé dans l'un des chapitres précédents

(voyez page 599). Mais avant d'entrer dans les détails des phénomènes de la formation de l'ovule, nous devons résumer ici les principales hypothèses émises pour expliquer le phénomène de l'imprégnation. On peut les réduire à deux : elles sont connues sous les noms d'*évolution* et d'*épigénèse*.

1° *Évolution*. Dans cette théorie on admet la préexistence des germes. La fécondation consiste uniquement à réveiller, à activer leur développement. Les uns veulent toutefois que ce soit la matière fécondante du mâle qui contient le germe, tandis que les autres disent que le germe préexiste dans les organes femelles.

2° *Épigénèse*. Dans ce système on admet en principe qu'il n'existe aucune trace des germes antérieurement à l'imprégnation ; que ces germes se forment de toutes pièces au moment de la fécondation. Mais les auteurs de cette théorie divergent encore d'opinion relativement à la manière dont a lieu la formation de l'embryon. Selon les uns elle résulte du mélange des deux liqueurs séminales mâle et femelle ; selon les autres la fécondation ne serait qu'une modification, qu'une extension de cette fonction plus générale, la nutrition.

Cette dernière théorie, celle de l'épigénèse, paraît plus conforme avec les faits observés, car, ainsi que l'a observé M. Mirbel, avant l'imprégnation on ne trouve aucune trace de germe dans l'ovule.

L'étude des phénomènes du développement de l'ovule n'a été bien connue que dans ces derniers temps. Déjà vers la fin du XVIe et le commencement du XVIIe siècle plusieurs auteurs, parmi lesquels il faut citer Grew et Malpighi, avaient cherché à faire connaître la structure de la graine avant sa maturité, mais ce sont surtout MM. R. Brown et Mirbel qui ont jeté le plus grand jour sur ce point de l'organisation végétale. Nous allons rapporter le résumé succinct de leurs travaux.

Selon M. R. Brown, avant l'imprégnation l'ovule se compose de deux membranes et d'une amande ; la membrane extérieure ou le *testa* présente, tantôt près du hile, tantôt dans un point plus ou moins éloigné ou opposé à cette cicatrice, une petite ouverture (micropyle, Turpin). C'est pour M. Brown la base de l'ovule, pendant que c'est le hile que les autres botanistes considèrent comme la base. Les vaisseaux nourriciers du péricarpe qui arrivent à l'ovule par le hile, rampent dans l'épaisseur du *testa* jusque vers son sommet, en formant une sorte de cordon qui se termine par un épanouissement nommé *chalaze*, et qui commu-

nique avec la membrane interne; celle-ci a une direction opposée au *testa.* Elle s'insère par une base assez large au sommet de celui-ci, c'est-à-dire au point diamétralement opposé à sa base perforée, de sorte que le sommet de la membrane interne, également perforée, correspond à la base du *testa.*

Ces deux membranes n'ont de communication entre elles que par ce seul point. L'amande qu'elles recouvrent est un corps celluleux, ayant constamment la même direction que la membrane interne. Elle se compose de deux membranes : l'une épaisse et celluleuse (chorion, Malpighi); l'autre intérieure, formant une sorte de vaisseau allongé, souvent rempli dans son principe par un liquide mucilagineux : c'est la *cavité amniotique.* L'embryon commence toujours à se montrer dans l'intérieur de cette membrane, et constamment sa radicule est tournée vers l'ouverture extérieure des téguments ; quelquefois les différentes parties intérieures de l'amande sont absorbées, et disparaissent pendant le développement de l'embryon ; c'est ce qui arrive dans les graines qui n'ont pas d'endosperme. D'autres fois le tissu cellulaire de l'amnios, ou celui de l'amande ou du *chorion* se remplit d'une matière granuleuse, formant un corps qui environne l'embryon. Il résulte donc de cette observation que l'endosperme n'a pas toujours la même origine ; en effet, tantôt il provient du tissu de l'amnios qui absorbe celui du chorion et le fait disparaître, plus rarement il est formé par le chorion qui refoule vers sa partie supérieure l'amnios sous la forme d'uue petite poche embrassant l'embryon. Enfin, quelquefois il paraît formé à la fois par le chorion et l'amnios.

D'après M. Mirbel, qui suivit le développement de l'ovule depuis le moment où il paraît, long-temps avant l'épanouissement de la fleur, l'ovule commence toujours par n'être qu'une masse très petite de tissu cellulaire, dans laquelle on ne distingue aucune séparation de membrane. Cet auteur admet cinq périodes dans le développement de l'ovule. 1° L'œuf végétal à l'état naissant est, comme nous venons de le dire, une excroissance pulpeuse, conique, sans ouverture. 2° En suivant avec soin les développements de ce corps, on le voit peu à peu se percer à son sommet. A travers cette ouverture sort un corps intérieur qui fait une saillie plus ou moins considérale, au point que la membrane extérieure est réduite souvent à une sorte de cupule ou de godet qui embrasse seulement la partie inférieure du nouvel organe. Ce corps qui a pris ainsi un si grand développe-

ment, est le *nucelle*; la partie qui l'environne à sa base, sous forme de cupule, est composée de deux membranes : l'une extérieure, la *primine*, l'autre intérieure, la *secondine*. 3° La primine et la secondine, soudées ensemble, prennent un accroissement considérable, ferment leur double orifice et recouvrent par conséquent le nucelle. L'orifice de la primine est nommé *exostome*; celui de la secondine, *endostome*. 4° Le nucelle, qui n'était primitivement qu'une masse de tissu cellulaire, éprouve bientôt d'autres changements : en effet, son intérieur se creuse, et il se forme alors une membrane celluleuse et sans ouverture, nommée *tercine* (chorion de Malpighi). Du sommet de cette cavité pend une lame de tissu cellulaire qui en revêt la paroi interne et forme une quatrième membrane appelée *quartine*. Dans un nucelle plein de tissu cellulaire, ou dans une quartine qui s'en est remplie, on voit paraître une nouvelle membrane sous forme d'un boyau grêle qui, d'une part, tient au sommet du nucelle, et de l'autre à la chalaze. C'est la *quintine* (sac amniotique de Malpighi). 5° Ce boyau se renfle dans sa partie supérieure, et l'embryon ne tarde pas à s'y montrer par sa partie inférieure. La quintine se détache de la chalaze, et il est quelquefois difficile de saisir le moment où elle y adhère. C'est dans l'intérieur de la quintine que se forme l'embryon. Cet organe, à l'état rudimentaire, se montre constamment, dans la partie supérieure de cette membrane, sous la forme de granulations opaques, qui se réunissent et se groupent pour le constituer. Ce corps, à mesure qu'il s'accroît, s'éloigne du sommet de la quintine et n'y est bientôt plus adhérent que par un filet très grêle, qui tient à l'extrémité de la radicule, on le nomme *filet suspenseur*. Quant à la formation de l'endosperme elle a lieu comme l'a décrite M. Brown, seulement M. Mirbel a vu que la quartine concourt également à former cet organe.

Lorsque les cotylédons et la radicule de l'embryon ont atteint leur grandeur naturelle, que la matière de l'endosperme s'est complétement formée, il n'est alors plus possible de reconnaître les diverses enveloppes de l'ovule qui est ainsi passé à l'état de graine.

Selon le même auteur, la chalaze correspond quelquefois immédiatement au hile; d'autres fois elle en est plus ou moins éloignée, et elle est toujours pour lui la base de l'ovule.

DE LA GERMINATION.

On nomme *germination* la série de phénomènes par lesquels une graine fécondée se développe et produit une nouvelle plante.

La germination ne peut avoir lieu que moyennant le concours de plusieurs circonstances qui dépendent de la graine elle-même, ou d'influences extérieures ; ainsi il est essentiel que la graine soit mûre, qu'elle renferme un embryon complet, et qu'elle ne soit pas trop vieille; d'un autre côté elle doit être soumise à l'action de certains agents extérieurs, tels que l'*eau*, la *chaleur* et l'*air*. L'eau est indispensable à la germination ; c'est elle qui, en pénétrant la substance de la graine, ramollit ses enveloppes, fait gonfler l'embryon, et détermine dans l'endosperme ou dans les cotylédons des changements chimiques qui rendent leur parenchyme plus propre à la nutrition du jeune végétal. La chaleur est également nécessaire; on sait, en effet, qu'au-dessous d'une certaine température, la graine reste inactive; au contraire, une chaleur trop élevée, en desséchant le milieu dans lequel on met la graine, s'oppose à la germination. La chaleur qui paraît la plus convenable est celle qui varie entre 20 et 30°, surtout si elle est jointe à une certaine humidité. Néanmoins entre 5 et 20°, et 30 et 50°, certains embryons peuvent encore se développer. Quant à l'air, sa présence est aussi indispensable à la germination des graines, ou du moins à leur développement, qu'elle l'est à la respiration des animaux. La lumière, au contraire, empêche ou au moins ralentit beaucoup la germination. Il paraît que le chlore, d'après les expériences de M. de Humboldt, accélère la germination des graines, de même que certaines substances qui peuvent facilement céder leur oxigène, telles que beaucoup d'oxides métalliques, l'acide nitrique étendu d'eau, etc.

Le fluide électrique exerce aussi une influence très marquée sur la germination. MM. Davy et Becquerel ont vu que les graines électrisées positivement germaient toujours plus tôt que les graines placées dans les circonstances ordinaires; qu'au contraire, celles qui étaient électrisées négativement ne se développaient pas.

Le premier phénomène apparent qui se manifeste dans la germination est le gonflement de la graine et le ramollissement des enveloppes. Celles-ci se rompent au bout d'un temps variable

pour les différents végétaux, tantôt irrégulièrement, tantôt régulièrement. Dès ce moment, on voit paraître l'embryon, qui prend alors le nom de *plantule*, se développer; on lui distingue deux extrémités, l'une qui appartient à la gemmule est le *caudex ascendant*: l'autre appartenant à la radicule est le *caudex descendant*. Ordinairement c'est ce dernier qui se développe le premier, et en s'allongeant il constitue la racine. En s'accroissant le caudex ascendant soulève les cotylédons quand ils sont épigés; ceux-ci exposés à l'influence de la lumière deviennent des feuilles dites *séminales*. Au contraire, s'ils sont hypogés, ils restent sous terre, se flétrissent, et la gemmule seule se porte à l'extérieur, où une fois parvenues, les folioles qui la composent se déroulent et s'étalent. Tel est le mode de développement de tous les embryons dicotylédonés; mais l'embryon monocotylédoné diffère un peu dans son mode de germination qui est généralement plus simple. Ici la radicule sort encore la première; mais elle est obligée de rompre une membrane que nous avons vu être la *coléorhize*; elle donne alors naissance à une multitude de radicules dont le développement particulier entraîne la destruction de la radicule principale; voilà pourquoi les monocotylédones n'offrent jamais de racine pivotante. D'un autre côté le cotylédon qui forme une *coléoptile* à la gemmule s'accroît toujours un peu avant de laisser apparaître cette dernière; lorsque la gemmule a perforé le cotylédon, celui-ci se change en une sorte de gaîne qui embrasse la gemmule à sa base. Enfin, le cotylédon reste souvent engagé dans les enveloppes séminales sans prendre d'accroissement.

Nous venons de voir que la racine, en vertu d'une tendance naturelle et invincible, s'enfonçait toujours dans la terre. Quelle est la cause qui préside à cette direction? On a donné diverses explications de ce phénomène : les uns ont dit que la racine tendait à descendre parce que, les fluides étant moins élaborés, sont par conséquent plus lourds que ceux de la tige. Cependant dans certains végétaux exotiques, tels que le *clusia rosea*, etc., on voit des racines se développer sur la tige, et descendre d'une hauteur très considérable pour s'enfoncer dans la terre. Or, dans ce cas, les fluides contenus dans ces racines aériennes sont de la même nature que ceux qui circulent dans la tige, et pourtant elles se dirigent encore vers la terre; il est donc évident que cette explication ne peut être soutenue. D'autres ont pensé que cette cause était due à l'avidité des racines pour l'humidité, et

dès lors Duhamel, voulant s'assurer de la réalité de cette explication, fit germer des graines entre deux éponges humides suspendues en l'air; mais au lieu de se porter vers l'une ou l'autre des deux éponges, les racines glissèrent entre elles, et vinrent pendre au-dessous en tendant ainsi vers la terre; cette hypothèse n'est donc point admissible. On avait pensé que la terre par sa nature et par sa masse pouvait attirer les racines; mais l'expérience contredit encore cette explication. M. Dutrochet remplit de terre une caisse dont le fond était percé de plusieurs trous; il plaça dans ces trous des graines de haricots germantes, et suspendit la caisse en plein air à une hauteur de six mètres. Dans cette position, la terre humide se trouvait placée au-dessus des graines qui recevaient de bas en haut l'influence de l'atmosphère et de la lumière; et cependant encore les radicules descendirent dans l'atmosphère, tandis que les plumules se dirigèrent en haut dans la terre. Il faut donc admettre que les racines se dirigent vers le centre de la terre, par un mouvement spontané, une force intérieure, une sorte de soumission aux lois générales de la gravitation, et sans doute aussi en raison de la tendance qu'elles ont à fuir la lumière. En effet, nous voyons certains végétaux parasites, tels que le *gui*, etc., non plus se diriger vers la terre, mais pénétrer leur radicule perpendiculairement à la surface d'implantation : en sorte que, placée à la partie inférieure d'un rameau, la graine du gui dirige sa radicule vers le ciel afin de s'implanter dans ce rameau; l'embryon du gui se comporte donc par rapport à la branche comme les autres graines par rapport à la terre.

Un autre phénomène bien remarquable est la direction des tiges. En effet, pendant que nous voyons la racine suivre toutes les directions où elle peut se plonger dans l'obscurité, la tige au contraire suit toujours celle qui peut lui faire recevoir une plus grande masse de lumière. On peut très bien observer ce phénomène dans les plantes élevées dans des souterrains : s'il existe une ouverture par laquelle pénètre la lumière, toutes se penchent, s'allongent vers elle, et surmontent tous les obstacles qui s'opposent à cette tendance invincible. Il en résulte que l'action de la lumière explique assez bien la tendance des tiges à s'élever dans l'atmosphère.

M. Knight a voulu s'assurer si cette tendance des racines vers la terre et des tiges vers le ciel ne serait pas détruite par un mouvement rapide et circulaire. Sans rapporter au long les

détails de ses expériences, nous dirons, d'une manière générale, qu'ayant soumis des graines en germination, ou des graines en végétation, à divers *mouvements de rotation*, les plumules, les tiges, la face supérieure des feuilles, les fleurs qui se tournaient vers la lumière, se dirigèrent constamment vers le centre de cette rotation; tandis que la radicule, les racines, la face inférieure des feuilles se tournèrent d'une manière aussi invincible vers la circonférence. Remarquons que, lorsque le mouvement de rotation se faisait horizontalement en agissant sur des graines germantes, les radicules se portèrent encore vers la circonférence, et les gemmules vers le centre, mais avec une inclinaison de 10° des premières vers la terre, et des secondes vers le ciel.

Les *maladies* des plantes sont les dérangements dans l'économie végétale qui n'altèrent pas sensiblement la forme des organes, mais plutôt leurs autres qualités, et par suite leurs liquides et leurs solides.

M. Turpin a distingué les organes des végétaux en deux grandes classes, qu'il nomme axiles et appendiculaires. Les organes axiles, ou qui forment l'axe de la plante, sont en général permanents, ou ne meurent que de trois manières qui paraissent toutes accidentelles :

1° Certaines parties de la tige attaquées par la pourriture ou par toute autre maladie, peuvent être altérées au point de mourir; tantôt la carie et la gangrène se propagent, et il en résulte la mort totale du végétal; tantôt la partie malade se cerne d'elle-même, et la partie vivante la rejette comme la nécrose; 2° certaines parties articulées de la tige peuvent se séparer les unes des autres, comme on le voit dans la champelure de la vigne : c'est une véritable maladie déterminée par le froid; 3° les tiges annuelles des plantes annuelles ou vivaces meurent après la maturité des graines, par suite de l'épuisement que ce phénomène y détermine. En mutilant plusieurs végétaux annuels, je suis parvenu à rendre leurs tiges persistantes.

Quant aux organes appendiculaires, tels que feuilles, bractées, involucres, spathes, sépales, pétales, étamines, carpelles, ils sont, par leur nature, toujours temporaires, toujours destinés à mourir après que leur rôle est achevé, et le plus souvent à se séparer d'eux-mêmes à cette époque de la tige qui leur a donné naissance.

De la durée des végétaux.

Un végétal peut être considéré sous deux points de vue : ou bien il est formé par l'agrégation d'une multitude d'individus bourgeons qui se greffent sans cesse les uns sur les autres ; ou bien il est lui-même un tout unique qui grandit par l'addition successive et indéfinie de fibres, de couches ou de cellules nouvelles : dans ces deux manières de voir, on doit admettre que la vie de ces individus prise en masse, est indéfinie, et n'a d'autre terme que les accidents et les maladies.

DE L'IRRITABILITÉ VÉGÉTALE.

6° DÉCRIRE LES MOUVEMENTS PARTICULIERS QUI SE MANIFESTENT A L'EXTÉRIEUR DANS PLUSIEURS ORGANES, ET DISCUTER LES HYPOTHÈSES PAR LESQUELLES ON A ESSAYÉ DE LES EXPLIQUER.

Les plantes présentent encore un autre genre de phénomènes, où elles manifestent des mouvements spontanés plus évidents encore que ceux dont nous venons de parler. Ce sont ces effets singuliers qu'on désigne sous le nom d'*irritabilité des végétaux* et de *sommeil des plantes*. On sait, en effet, qu'aux approches de la nuit les feuilles et les fleurs d'un grand nombre d'entre elles affectent des positions et des directions différentes de celles qu'elles présentent pendant le jour : on remarque surtout cet effet dans les plantes à feuilles composées : l'*amorpha*, le *faux acacia*, abaissent leurs feuilles dès que le soleil disparaît, et restent pendantes durant la nuit. Le matin, leurs folioles s'étendent, et plus tard elles présentent encore ce phénomène remarquable, qu'à mesure que la lumière et la chaleur augmentent, elles se redressent ; de sorte qu'elles pointent vers le ciel au milieu du jour. L'état *diurne* des feuilles présente donc aussi des variations. Bonnet a observé que les feuilles larges prennent une forme concave lorsqu'elles sont frappées par une vive lumière. Il est vrai que l'on peut attribuer ce phénomène à l'évaporation plus considérable à la face supérieure ; ce qui doit produire un retrait plus grand qu'à la face inférieure.

Les positions qu'affectent les feuilles et les inflorescences dans leur état *nocturne* varient à l'infini. On voit dans le *cassia*

marylandica un phénomène des plus curieux : le soir, ses folioles s'abaissent en tournant sur leurs articulations, de manière qu'elles s'appliquent l'une contre l'autre par leur face supérieure. Dans le *mimosa pudica*, le pétiole principal lui-même s'incline, les pétioles secondaires se rapprochent et les folioles s'appliquent les unes sur les autres, comme les tuiles d'un toit.

La *sensitive* est une des plantes qui offrent ces mouvements au plus haut degré; non seulement la plicature de ses folioles s'observe lorsque le soleil disparaît sous l'horizon, ou est obscurci par un nuage épais, mais encore une secousse, une égratignure, le contact de la main, la chaleur, le froid, les agents chimiques, agissent sur elles, et souvent l'action exercée sur une seule se communique à plusieurs autres, et jusqu'au pétiole commun.

Dans le *dionœa muscipula*, la feuille offre deux lobes réunis par une charnière : quand un insecte vient toucher la face supérieure de ces lobes, ils se rapprochent et saisissent l'animal qui les irrite.

Les *drosera rotundifolia* et *angustifolia* ferment les feuilles comme des bourses, ce qui leur a valu, ainsi qu'au *dionœa*, le nom d'attrape-mouche.

L'*hedisarum - girans*, espèce de sainfoin du Bengale, offre des feuilles trifoliées; la plus grande foliole, qui est terminale, exécute un faible mouvement sur son articulation; mais les deux parties latérales ont un double mouvement, l'un de bascule de haut en bas; l'autre de torsion, en se rapprochant ou s'éloignant de la grande foliole. Ce mouvement paraît inhérent à leur organisation; car, tout en présentant de fréquentes irrégularités, il ne cesse jamais, alors même que la feuille est détachée de la plante.

On pourrait citer encore un grand nombre de végétaux dont les feuilles exécutent des mouvements plus ou moins marqués, tels sont les *mimosa sensitiva casta*, *dormiens*, *viva humilis*, etc.

Les naturalistes se sont beaucoup occupés de ces mouvements. *Bonnet* les attribuait à l'influence de l'humidité de la nuit. *Linnée*, à l'absence de la lumière, ce qui paraît plus vrai, car M. de Candolle, en plaçant dans l'obscurité plusieurs plantes douées de cette faculté, et les éclairant artificiellement, a vu plusieurs d'elles changer les heures de leurs veilles et de leur sommeil, et faire ainsi de la nuit le jour, et du jour la nuit.

Mais ces mouvements ne tiennent pas seulement à une influence de lumière; et, pour donner d'autres explications à cette cause, les uns ont dit qu'elle était due à un gaz que le choc le plus léger ferait dégager. Mais comme il ne se dégage aucun gaz, il en résulte que cette hypothèse est sans fondement. D'autres ont prétendu que ces mouvements provenaient des alternatives de chaleur et de refroidissement. Une opinion qui paraît plus probable et plus généralement adoptée, est celle qui fait dépendre les mouvements rapides des plantes à feuilles mobiles, des influences de la sève. Malheureusement pour cette hypothèse, il faut admettre, indépendamment de l'excitabilité qui existe dans tous les êtres organisés, la faculté de percevoir et de pouvoir transmettre plus ou moins bien l'action que certains agents extérieurs produisent sur eux.

M. Dutrochet a fait des expériences sur le bourrelet qui se trouve à la base du pétiole des feuilles dites *articulées*, et en particulier sur celui de la sensitive; expérience qui le conduisent à penser que les mouvements ont lieu dans le bourrelet lui-même, et qu'ils se réduisent à la flexion et au redressement. Ce bourrelet est essentiellement composé d'un tissu cellulaire fin et délicat, garni d'une très grande quantité de petits grains verts, qui sont pour M. Dutrochet, autant de corpuscules nerveux (globuline de Turpin). C'est ce tissu cellulaire du bourrelet qui est le siége des mouvements du pétiole, que l'on peut à volonté anéantir en enlevant ce tissu cellulaire. Ainsi, quand on enlève le tissu cellulaire du côté inférieur du bourrelet, la feuille reste fléchie et ne peut se redresser; si, au contraire, on ôte la partie supérieure, la feuille conserve la faculté de se redresser; mais elle ne peut plus se fléchir. Il en résulte évidemment que la flexion de la feuille est produite par l'action du bourrelet supérieur, et son redressement est dû à celle du bourrelet inférieur.

Maintenant si l'on coupe une tranche très mince du tissu cellulaire du bourrelet sur le côté supérieur ou inférieur, on le voit sur-le-champ se ployer en cercle dont la concavité regarde constamment l'axe du bourrelet; en sorte que l'on peut considérer le bourrelet comme formé de deux ressorts antagonistes qui tendent à se recourber en sens inverse. Enfin, selon M. Dutrochet, la cause de ces mouvements d'*incurvation* (nom qu'il donne à cette propriété que possèdent les lames du bourrelet de se rouler dans un sens ou dans un autre) réside dans l'*action nerveuse* que les agents extérieurs mettent en jeu.

Malgré toutes ces opinions, il est facile de voir que cette question importante n'est point encore résolue.

L'irritabilité végétale ne se fait pas seulement remarquer dans les organes que nous venons de signaler; mais on la retrouve, sans contredit, d'une manière bien plus marquée dans les organes de la reproduction : ainsi, tantôt les étamines s'inclinent alternativement sur le pistil, touchent les stigmates, puis se redressent et tombent comme dans la *rue ;* tantôt elles lancent leur pollen avec force et élasticité, comme dans le *laurus persea*, la *pariétaire*, etc. Dans l'*épine-vinette*, le *cactus opuntia*, le *spermannia*, les étamines sont si irritables, qu'elles s'agitent dès qu'on les touche. Il en est de même des pistils du *martynia*, de ceux de plusieurs plantes de la famille des bignones, des personnées, des cynarocéphales, etc.; certains stigmates deviennent humides et s'entr'ouvrent pour recevoir le pollen comme dans la *pensée*. Dans les *fleurs de la passion*, les *nigelles*, les *épilobes*, les styles se penchent vers les étamines, exécutant ainsi divers mouvements d'irritabilité qui semblent indiquer une sorte d'instinct. Le *valisneria spiralis* offre un phénomène encore plus remarquable ; cette plante dioïque porte les fleurs femelles à l'extrémité de longues tiges contournées en spirales, qui, se déroulant à l'époque de la floraison, élèvent les fleurs à la surface de l'eau; les fleurs mâles naissent en grand nombre sur de courts pédoncules sortant des racines, mais au temps de leur épanouissement elles se détachent naturellement, montent à la surface de l'eau, et, ballottées par le mouvement du liquide, approchent et entourent les fleurs femelles; il arrive même souvent qu'elles les couvrent entièrement. C'est ainsi que la fécondation a lieu ; mais aussitôt que cette fonction est opérée, la tige en spirale de la plante femelle se resserre et fait rentrer dans le sein des eaux l'ovaire fécondé. Tous ces phénomènes bien extraordinaires et difficiles à expliquer ont fait admettre, par quelques auteurs, dans les végétaux, une sorte de sentiment et d'instinct, un principe vital susceptible d'être mis en action par des agents extérieurs.

7° MONTRER LA PARFAITE CONVENANCE DE CERTAINES DISPOSITIONS ORGANIQUES POUR L'ACCOMPLISSEMENT DES PHÉNOMÈNES DE L'ABSORPTION, DE LA TRANSPIRATION, DE LA RESPIRATION, ETC., ET INDIQUER, AUTANT QUE LE PERMETTENT LES PROGRÈS DE LA SCIENCE, L'INFLUENCE QU'EXERCENT SUR CES PHÉNOMÈNES LES AGENTS EXTÉRIEURS PONDÉRABLES OU IMPONDÉRABLES.

En revenant sur l'ensemble de la composition des végétaux, on ne peut s'empêcher d'admirer avec quel art les dispositions organiques propres à l'accomplissement des phénomènes que nous avons décrits précédemment sont établies. Il suffit, en effet, de se rappeler les spongioles qui terminent les radicelles et par lesquelles se fait l'absorption de la succion dans les végétaux; de considérer la disposition des couches des différents tissus qui composent la tige des plantes et dont les parties intérieures communiquent avec les plus extérieures au moyen des irradiations utriculaires; de jeter un coup d'œil sur toutes les surfaces vertes, respiratrices, dont la structure différente des deux surfaces indique qu'elles sont appelées souvent à remplir des fonctions différentes ; sur l'épiderme général qui, en raison des stomates dont il est parsemé, paraît avoir pour objet l'absorption et l'exhalaison des fluides aériformes, mais qui peut-être n'a été créé que pour empêcher l'évaporation trop rapide des liquides répandus dans le végétal. Enfin, si l'on ajoute que les organes rudimentaires ou *embryons* sont le plus souvent situés dans le voisinage de dépôts de fécule propres au premier développement de la plante, nous aurons la preuve des parfaites convenances de certaines dispositions organiques que nécessite l'accomplissement des phénomènes de l'absorption, de la transpiration, de la respiration, etc. Mais la plupart de ces phénomènes dépendent évidemment d'une force intérieure inconnue, peut-être l'irritabilité organique, ou une force vitale, et aussi de quelques causes extérieures, telles que l'action de la chaleur et de la lumière, la capillarité et surtout l'*endosmose* qui exercent une influence bien marquée sur ces phénomènes.

DE LA TAXONOMIE,

OU DES CLASSIFICATIONS BOTANIQUES GÉNÉRALES.

8° QUE DOIT-ON ENTENDRE PAR CES MOTS : CARACTÈRES BOTANIQUES? D'APRÈS QUELLES DONNÉES EST-ON CONVENU DE MESURER L'IMPORTANCE RELATIVE DE CES CARACTÈRES, ET, PAR CONSÉQUENT, DE LES SUBORDONNER LES UNS AUX AUTRES? APPRÉCIATION DES RÉSULTATS, PLUS OU MOINS SATISFAISANTS, OBTENUS PAR CE PROCÉDÉ.

Pour parvenir à la connaissance de toutes les parties des plantes, il a fallu analyser un grand nombre de végétaux, et dès lors on a éprouvé le désir et le besoin de rapprocher les uns des autres ceux dont les mêmes parties présentent le plus de rapports: c'est à ce rapprochement qu'il convient de donner le nom de *caractères botaniques*. Plus le nombre des plantes que l'on connaît s'accroît, et plus notre esprit éprouve le besoin de les disposer par groupes qu'il puisse embrasser sous un seul point de vue. Voilà l'origine de toutes les classifications; mais ces classifications, qui, une fois créées, présentent pour l'étude des objets classés un avantage immense, celui de pouvoir aller chercher la description et le nom d'un objet qui s'offre à nous pour la première fois, présentent, dans les moyens que l'on a employés pour établir leurs bases, des différences importantes qu'il importe de faire connaître.

Il est certain qu'une classification peut être basée sur un très petit nombre de caractères des objets à classer, comme aussi elle peut l'être sur le plus grand nombre possible. Dans le premier cas, on classera facilement des objets que l'on connaîtra fort peu; dans le second, les objets ne seront classés qu'après en avoir étudié la structure entière avec le plus grand soin. On conçoit donc qu'entre ces deux manières opposées de grouper les végétaux, il puisse en exister un grand nombre qui tiendront plus ou moins de l'une ou de l'autre. Celles qui se rapprochent le plus de la première manière ont reçu le nom de *méthodes empyriques* ou *systèmes;* celles qui se rapprochent le plus de la seconde ont été appelées *méthodes rationnelles* ou *naturelles*.

La classification de Linnée est dans le premier cas, celle de Jussieu dans le second, et la méthode de Tournefort tient

presque également de l'une et de l'autre. Parmi le nombre considérable de classifications qui, sous le nom de systèmes et de méthodes, ont tour à tour obtenu plus ou moins de célébrité, nous ne rapporterons que les trois précédentes.

Quand on veut acquérir des connaissances positives, on ne doit pas adopter indifféremment une méthode quelconque; et si l'on ne prend le sage parti d'étudier les plus remarquables, toujours doit-on accorder la préférence à celle qui est basée sur tous les caractères des objets à classer, et principalement sur les caractères les plus constants. Le plus ou le moins de constance des caractères offerts par les divers organes des plantes, a de tout temps exercé l'attention des botanistes; il a fallu tous les travaux de ceux qui ont précédé la fin du dix-huitième siècle, pour que l'on soit parvenu à reconnaître, qu'à peu d'exceptions près, les parties du végétal qui présentent les caractères les plus invariables dans les plantes congénères, peuvent être énumérées dans l'ordre suivant :

1° La graine et ses parties.
2° Le péricarpe et ses parties.
3° Les organes sexuels et leur insertion.
4° La corolle et le calice.
5° Le mode d'inflorescence.
6° Les feuilles, les écailles, etc.
7° La racine et la tige.

On peut même dire qu'aux yeux de la nature c'est l'ordre qui offre le plus haut degré d'importance.

9° DÉFINIR, D'APRÈS LES AUTEURS LES PLUS ACCRÉDITÉS, L'INDIVIDU, L'ESPÈCE, LA VARIÉTÉ, LE GENRE, LA FAMILLE, ET METTRE EN LUMIÈRE, A L'AIDE DE QUELQUES EXEMPLES BIEN CHOISIS, CE QU'IL Y A DE POSITIF OU D'HYPOTHÉTIQUE DANS LEURS DÉFINITIONS.

Avant d'entrer dans les détails de la marche à suivre pour grouper les végétaux de manière ensuite à les classer naturellement, il est important de définir ce que l'on doit entendre par *individu*, *espèce*, *variété*, *genre*, *famille* et *classe*, afin de bien connaître leurs diverses acceptions.

Individus. Ce mot a une signification très simple, mais qu'un exemple fera mieux connaître qu'une définition. Lorsque l'on

considère une forêt de pins ou de chênes, un troupeau de bœufs ou de moutons, une réunion d'hommes, chaque pin ou chêne, chaque bœuf ou mouton, chaque homme pris isolément, est un individu des espèces que l'on nomme chêne, pin, mouton, bœuf, homme. Les individus sont donc chacun des êtres dont se compose l'espèce en général, considérés isolément.

Espèces. Quoiqu'il soit assez difficile de donner une définition rigoureuse de ce que les naturalistes ont nommé espèce, néanmoins ce que nous venons de dire de l'individu doit donner une idée de ce que, le plus généralement, on entend par le mot espèce. L'espèce, dans le règne organique, est donc la réunion des individus, possédant les mêmes caractères et se reproduisant toujours avec les mêmes propriétés essentielles et les mêmes qualités. Remarquons encore que les individus qui forment l'espèce peuvent se féconder entre eux, et produire d'autres individus entièrement semblables, qui jouissent également de la propriété de se reproduire sans aucune altération essentielle.

Variétés. Par ce mot on doit entendre ces individus qui s'éloignent du type primitif de l'espèce par des caractères de peu d'importance, pendant qu'ils conservent toujours les mêmes caractères essentiels. En botanique, selon Linnée, la variété est une plante qui a éprouvé quelque changement par des causes accidentelles, telles que le climat, la nature du sol, la chaleur, les vents, etc. Ainsi une tige plus ou moins grande, des feuilles plus ou moins larges, plus ou moins profondément découpées, des fleurs d'une couleur différente, simples ou doubles, ne sont pas des caractères spécifiques; ils n'annonçent que de simples variétés.

Genres. La réunion des espèces qui ont entre elles une ressemblance évidente dans leurs caractères intérieurs et leurs formes extérieures, constitue ce que l'on appelle *genre*. On voit donc que les genres sont par rapport aux espèces, ce que ces dernières sont aux individus, et même aux variétés. Les caractères sur lesquels les genres sont fondés, sont tirés de considérations d'un ordre supérieur à celles d'après lesquelles on établit les espèces; elles dépendent de l'organisation de quelque partie essentielle. Dans le règne végétal, c'est principalement dans la forme ou dans la disposition des diverses parties de la fructification que les botanistes puisent les caractères par lesquels ils veulent établir des genres. Mais le nombre et la va-

leur de ces caractères sont loin d'être les mêmes pour toutes les familles. Un caractère de la plus haute importance dans un certain groupe, devient presque nul dans un autre. Ainsi dans les graminées, les ombellifères, les crucifères, les caractères qui différencient les genres sont si peu considérables, que dans d'autres familles elles serviraient à peine à distinguer les espèces entre elles. En général on peut regarder comme réellement bon et naturel, tout genre qui réunit des espèces qui aient de commun entre elles la modification d'organes qui constitue le caractère essentiel et qui se ressemblent par leur port et leurs formes extérieures.

Ordres et familles. En opérant pour les genres comme on a fait pour les espèces, c'est-à-dire en rapprochant ceux qui conservent encore des caractères communs, on établit des *ordres*, si l'on n'a égard qu'à un seul caractère; des *familles* ou ordres naturels, si l'on rapproche les genres d'après les caractères offerts par toutes les parties de leur organisation. Ainsi, Linnée, dans son système sexuel, en réunissant les genres qui ont le même nombre de styles ou de stigmates, en formait des ordres. M. de Jussieu au contraire, en rapprochant les uns des autres les genres qui offrent la même organisation dans leurs graines, leur fruit, les diverses parties de leurs fleurs, et la même disposition dans les organes de la végétation, composait une famille naturelle.

Classes. Enfin les *classes*, qui sont le premier degré de division dans une classification, se composent d'un certain nombre d'ordres ou de familles naturelles réunis par un caractère plus général et plus large, mais toujours propre à chaque être qui fait partie de la classe. Ainsi Linnée, dans son système, a fait une classe de tous les genres qui ont cinq étamines; cette classe se divise en un certain nombre d'ordres selon que les genres ont un, deux, trois, quatre, cinq, etc. de styles et stigmates. De même, M. de Jussieu a formé dans sa méthode des familles naturelles, quinze classes, dont le caractère essentiel est fondé sur le mode d'insertion des étamines ou de la corolle monopétale staminifère.

Ces différentes définitions étant comprises, voyons par quel moyen nous pouvons arriver aux différents groupements qui conduisent à la méthode naturelle, et d'abord supposons qu'après avoir étudié un certain nombre d'espèces, on ait appris à connaître la *laitue*, la *chicorée*, le *pissenlit*, le *laiteron*, etc. On

aura dû remarquer, en les disséquant dans toutes leurs parties, combien ces plantes ont d'analogie, et dès lors on devra les réunir en un groupe que l'on désignera par un nom collectif ou un nom de famille (chicoracées), groupe dans lequel viendront se classer les plantes qui offriront la même série de caractères.

Maintenant, parmi les plantes qu'on aura étudiées en détail et individuellement, que l'on remarque l'analogie que présentent entre eux la *carde*, l'*artichaut*, le *carthame*, la *grande centaurée* etc., par le même esprit qui aura conduit au groupement précédent, on sera porté à réunir dans un autre groupe (carduacées) toutes ces plantes ainsi que celles qui auront des caractères semblables.

Ces plantes présenteront quelques uns des caractères des *chicoracées*, mais elles en différeront par d'autres caractères moins saillants.

Si l'on connaît le *tournesol*, l'*aster*, le *souci*, le *topinambour*, la *reine-marguerite*, etc., il sera impossible de ne pas les ranger dans un autre groupe analogue aux chicoracées et aux carduacées par les caractères qu'offrent la graine, le péricarpe et les organes sexuels, en différant cependant par la disposition des fleurs qui sont radiées.

Mais ces trois divisions offrent toutes pour caractères communs une graine unique à embryon dicotylédone, un péricarpe ou un ovaire inféro-monosperme, cinq anthères soudées ensemble par leurs côtés et formant un tube, etc.

L'esprit les embrassera bientôt sous un seul point de vue, et en fera un seul groupe plus général que l'on désignera par le nom collectif de plantes *synanthérées*.

D'un autre côté, si l'on a aussi analysé le chardon bonnetier, la scabieuse, etc., plantes qui présentent entre elles un assez grand nombre de rapports, et que l'on a groupées sous le nom de plantes *dipsacées*, on voit qu'elles offrent avec les synanthérées et beaucoup d'autres végétaux quelques analogies, telles que : 1° un embryon dicotylédone, 2° un péricarpe inféro-monosperme; 3° une corolle monopétale, etc. On pourra donc désigner l'ensemble de tous les végétaux qui offriront ces caractères sous une nouvelle dénomination plus collective que les précédentes, telle par exemple que celle-ci : *dicotylédones à corolles monopétales épigynes*. Enfin, réunissant ainsi successivement, d'après des caractères moins nombreux, mais d'une plus haute importance, une quantité plus considérable de plantes, on ar-

rive à embrasser sous le nom de *dicotylédonées* toutes celles qui ont une graine à embryon dicotylédon; on désigne de même sous le nom de *monocotylédonées*, celles dont l'embryon n'a qu'un seul cotylédon, enfin sous le nom d'*acotylédonées* toutes celles qui n'ont point de cotylédons.

10° QU'EST-CE QUE LES CLASSIFICATIONS BOTANIQUES, DITES MÉTHODES OU SYSTÈMES, CONSIDÉRÉES SOUS LE POINT DE VUE LE PLUS GÉNÉRAL?

Les premiers botanistes qui se sont occupés de la classification des végétaux, paraissaient avoir eu moins en vue de réunir les plantes d'après leurs affinités naturelles, que de les réunir d'après des caractères peu nombreux, et jugés aujourd'hui de peu d'importance, dans le but d'arriver plus promptement à la connaissance du nom des plantes. C'est qu'ils ne prévoyaient pas quels avantages réels pouvaient résulter d'un groupement fondé sur des caractères naturels et constants. En effet Linnée et Tournefort, ne puisant les bases de leurs classifications que dans les caractères fournis par un petit nombre d'organes, n'ont mis au jour que des *méthodes artificielles* ou des *systèmes;* au contraire Laurent de Jussieu, rapprochant tous les caractères tirés de l'ensemble de l'organisation étudiée dans tous ses détails, a commencé une *méthode naturelle* à laquelle chaque jour les botanistes modernes s'efforcent d'ajouter.

11° DANS L'ÉTAT ACTUEL DE LA PHYTOLOGIE, PEUT-ON, COMME ON LE FAIT SOUVENT EN ZOOLOGIE, DÉMONTRER LA NÉCESSITÉ DE LA COEXISTENCE DES PRINCIPAUX CARACTÈRES EMPLOYÉS COMME BASE DES MÉTHODES.

Les divers systèmes d'organes d'après lesquels on peut établir des distinctions parmi les végétaux, ont entre eux, comme cela s'observe également chez les animaux une corrélation nécessaire, de manière que l'on peut souvent conclure l'existence d'un caractère caché que l'on ne pourrait reconnaître que par le secours de l'anatomie, de celle d'un caractère extérieur qui se manifeste de lui-même. Ces relations constituent ce qu'on appelle les lois de coexistence des caractères.

Si nous examinons des cas où les caractères nutritifs des vé-

gétaux ont été bien étudiés, nous verrons qu'ils se sont trouvés d'accord avec ceux de la reproduction. Césalpin, raisonnant d'après ces derniers seuls, mais raisonnant avec quelque rigueur, arrive à établir certaines classes déduites de la structure de l'embryon. Plusieurs siècles après, Desfontaines, observant les seuls organes de la végétation, est conduit à établir la même coupe, et donne ainsi l'une des plus grandes preuves de la concordance de ces deux systèmes d'organes.

Pour reconnaître qu'une classe est parfaitement naturelle, il faut y être arrivé par les deux voies que présente l'organisation végétale; ainsi, on peut affirmer que la division des monocotylédones et dicotylédones, la distinction des graminées d'avec les cypéracées, etc., sont des divisions naturelles, parce que, dans ces cas, on arrive au même résultat par les organes reproducteurs et nutritifs.

1° DONNER L'ANALYSE DES MÉTHODES DE TOURNEFORT, DE LINNÉE, DE JUSSIEU, ET EN MONTRER L'UTILITÉ PRATIQUE.

MÉTHODE DE TOURNEFORT.

Tournefort, peut-être pour obéir aux idées de son temps plutôt que par une conviction intime, divisa tous les végétaux en *herbes* et en *arbres*, comprenant à la fois parmi les herbes toutes les plantes annuelles et les sous-arbrisseaux. Mais ce caractère est si vague, et la limite entre ces deux grandes divisions si difficile à placer, qu'on s'étonne aujourd'hui que Tournefort les ait adoptées.

Considérant ensuite, dans chacune de ces deux grandes divisions : la présence ou l'absence des fleurs; la simplicité ou la composition de cette partie des plantes, le nombre unique ou multiple des pétales, la régularité ou l'irrégularité des corolles, enfin la forme de la fleur, il parvint à établir vingt-deux classes, dans lesquelles toutes les plantes alors connues venaient aisément se classer.

En jetant un coup d'œil sur le tableau suivant il sera facile de comprendre de suite la définition particulière de ces classes sans que nous soyons obligé de la donner.

MÉTHODE DE TOURNEFORT.

Herbes.

FLEURS PÉTALÉES	simples	corolles monopétales	Régulières	1.	Campaniformes.
				2.	Infundibuliformes.
			irrégulières	3.	Personnées.
				4.	Labiées.
		corolles polypétales	Régulières	5.	Cruciformes.
				6.	Rosacées.
				7.	Ombellifères.
				8.	Caryophyllées.
				9.	Liliacées.
			irrégulières	10.	Papillonacées.
				11.	Anomales.
	composées			12.	Flosculeuses.
				13.	Semi flosculeuses.
				14.	Radiées.
Fleurs sans pélates ou apélatées				15.	Apétales avec étamine.
				16.	— sans étamine.
				17.	— sans fleurs ni fruits.

Arbres.

Sans pétales			18.	Arbres apétales.
			19.	— amen acés.
Fleurs pétalées	corolles monopétales		20.	— à fleurs monopétales.
	corolles polypétales	Régulières	21.	— — rosacées.
		irrégulières	22.	— — papillonacées.

Après avoir établi ces classes qu'il eût été sans doute plus philosophique de réduire à 17 en réunissant les arbres aux herbes, Tournefort s'occupa des sections ou sous-divisions des classes, qu'il basa sur les considérations suivantes :

1° Sur l'origine du fruit provenant tantôt du pistil, comme dans le *prunier*, les *tulipes*, les *cruciformes* et toutes les plantes où l'ovaire est libre et supère, etc.; 2° sur sa substance ou consistance, tantôt molle ou charnue, et tantôt sèche; 3° sur sa grosseur ; 4° sur le nombre des loges ou des coques du fruit; 5° sur le nombre, la forme, la disposition des graines ; 6° sur leurs usages dans l'économie domestique; 7° sur la disposition des étamines et des fruits, soit dans un même calice, soit sur un même pied dans des fleurs différentes, soit enfin sur des pieds différents, ce qui constitue les fleurs *hermaphrodites*, *monoïques* et *dioïques;* 8° quand les fruits n'ont pu fournir des caractères assez variés pour établir des sections, par exemple dans les labiées, Tournefort a considéré la *figure et la disposition des corolles;* 9° enfin,

lorsque les fruits ni les corolles n'ont présenté de différence remarquable dans les plantes d'une classe, comme, par exemple, dans les *papillonacées*, il a eu recours à la disposition des feuilles. C'est au moyen de ces neuf considérations que Tournefort est parvenu à créer 128 sections.

Les reproches les mieux fondés que l'on puisse faire à cette méthode, c'est d'abord la séparation des plantes herbacées des ligneuses; en effet, les végétaux qui ont entre eux la plus grande analogie, sont souvent éloignés et rejetés à une distance très grande les uns des autres. Ensuite, la forme de la corolle, la grosseur des fruits, etc., ne sont pas assez tranchées pour que l'on puisse sur-le-champ décider à quelle classe, à quelle section appartiennent les organes que l'on a sous les yeux; ainsi où se trouvera la ligne de séparation entre une corolle hypocratériforme et une corolle infundibuliforme, entre cette dernière et une corolle campanulée, etc. ?

SYSTÈME DE LINNÉE.

Parmi les moyens inventés pour coordonner les végétaux, et en trouver facilement les noms, le système sexuel de Linnée est, sans contredit, le plus simple; aussi est-il encore généralement adopté.

Pour établir les classes de son système, Linnée s'appuya : 1° sur la présence ou l'absence des organes sexuels; 2° sur leur réunion dans la même fleur ou leur séparation dans des fleurs distinctes; 3° sur l'adhérence des étamines et des pistils; 4° sur la connexion des étamines entre elles, soit par les anthères, soit par les filets; 5° sur la proportion relative des étamines, quand cette proportion offre un caractère constant; 6° sur l'insertion; 7° enfin sur le nombre des étamines.

Si l'on étudie ce système dans l'ordre numérique que Linnée a assigné à ses 24 classes, on commet pendant assez long-temps l'erreur de placer dans l'une des premières classes, des plantes qui appartiennent aux dernières. Il est bien préférable de présenter ce système dans un ordre inverse en se faisant une série de questions dont la résolution aura pour but la connaissance de la classe à laquelle appartient la plante dont on cherche le nom. Nous ne donnerons donc sur les classes du système sexuel d'autres détails que le tableau suivant.

Système sexuel de Linnée.

Questions	Réponses		Classes	
1° La plante est-elle munie d'organes sexuels ?	Non. Elle appartient à la Cryptogamie.			24e.
	Oui. Voyez la quest. n° 2.			
2° Y voit on à la fois des fleurs unisexuées et des fleurs hermaphrodites ?	Oui. Elle appartient à la Polygamie.			23e.
	Non.	Toutes unisexuées sur deux pieds.	Diœcie.	22e.
		Toutes unisexuées sur un seul pied.	Monœcie.	21e.
		Toutes hermaphrodites. Voyez n° 3.		
3° Les étamines sont-elles adhérentes au pistil ?	Oui		Gynandrie.	20e.
	Non . . . . N° 4.			
4° Les étamines sont-elles réunies par les anthères ?	Oui.		Syngénésie.	19e.
	Non . . . . N° 5.			
5° Les étamines sont-elles réunies par les filets ?	Oui	en plus de 2 corps.	Polyadelphie.	18e.
		en 2 corps . . .	Diadelphie.	17e.
		en 1 seul corps. .	Monadelphie.	16e.
	Non. . . . . . . N° 6.			
6° Les étamines sont-elles au nombre de six dont quatre plus longues ?	Oui		Tétradynamie.	15e.
	Non. . . . . . . N° 7.			
7° Sont-elles au nombre de quatre dont deux plus longues ?	Oui.		Didynamie.	14e.
	Non. . . . . . . N° 8.			
8° Les étamines dépassent-elles le nombre douze ?	Oui	insérées sur le réceptacle. . .	Polyandrie.	13e.
		insérées sur le calice.	Icosandrie.	12e.
	Non. . . . . . . N° 9.			
9° Combien trouve-t-on d'étamines ?	12.		Dodécandrie.	11e.
	Dix.		Décandrie.	10e.
	Neuf. . . .		Ennéandrie.	9e.
	Huit.		Octandrie.	8e.
	Sept.		Heptandrie.	7e.
	Six		Hexandrie.	6e.
	Cinq.		Pentandrie.	5e.
	Quatre. . . .		Tétrandrie.	4e.
	Trois.		Triandrie.	3e.
	Deux. . . .		Diandrie.	2e.
	Une.		Monandrie.	1re.

Nota. Il ne faut s'adresser cette dernière question qu'après les 8 précédentes, et n'avoir eu pour réponse aucune des 13 classes qui sont en tête de ce tableau, autrement en s'adressant de suite cette 9e question, on se trompera autant de fois qu'il s'agira d'une plante appartenant à l'une des 13 dernières classes.

Les ordres ou divisions secondaires de ce système sont aussi faciles à reconnaître que les classes. Dans les treize premières, ils sont établis sur le nombre des pistils et désignés par les mots *monogynie*, *digynie*, *trigynie*, *polygynie*, suivant que la plante que l'on veut classer presente un, deux, trois, etc., pistils.

Dans la didynamie, Linnée n'a établi que deux ordres : le premier, sous le nom de *gymnospermie*, comprend toutes les plantes didynames, ayant un fruit formé de quatre graines nues au fond du calice (*menthe*, *serpolet*, etc.); le second, appelé *angyospermie*, renferme toutes les didynames ayant pour fruit une capsule (linaire, digitale, etc.).

La tétradynamie n'est aussi divisée qu'en deux ordres : les *siliculeuses* et les *siliqueuses*, que nous avons définies en traitant des péricarpes.

Les classes monadelphie, diadelphie et polyadelphie ont leurs ordres basés sur le nombre des étamines, et n'ont pas besoin d'explications plus détaillées.

La syngénésie offre des ordres plus difficiles à reconnaître; Linnée a formé les six suivantes :

La *pol gamie égale*, quand tous les fleurons et demi-fleurons sont hermaphrodites et fertiles (toutes les demi-flosculeuses, le chardon, l'artichaut, etc.).

La *polygamie superflue*, quand tous les fleurons et demi-fleurons sont fertiles, quoiqu'il y en ait qui ne que sont femelles (seneçon, tussilage).

La *polygamie frustranée*, quand les fleurons du centre sont hermaphrodites et fertiles, tandis que les demi-fleurons du pourtour, femelles ou neutres, sont stériles (tournesol, centaurée).

La *polygamie nécessaire*, quand les fleurons du centre sont stériles, tandis que ceux de la circonférence, qui ne sont que femelles, sont fertiles (soucis).

La *polygamie séparée*, quand chaque fleuron a un calice particulier, comme dans l'*échinops*.

La *monogamie*, quand la synanthérie a lieu dans une fleur simple (violette, balsamine).

Les classes gynandrie, monœcie et diœcie ont leurs ordres établis sur tout ce qui a servi à caractériser les classes précédentes.

La polygamie renferme trois ordres : 1° la *monœcie* renferme les plantes dont les fleurs hermaphrodites et les fleurs unisexuées sont sur le même pied (pariétaire, arroche); 2° la *diœcie* présente les fleurs unisexuées et les fleurs hermaphrodites sur deux pieds distincts (frêne); 3° la *triœcie* présente des fleurs hermaphrodites sur un pied, des fleurs femelles sur un autre, et des fleurs mâles sur un troisième.

Enfin la cryptogamie comprend quatre ordres qui sont : les *fougères*, les *mousses*, les *algues*, les *champignons*.

Ce système, si commode qu'il soit pour arriver à la connaissance des plantes, présente cependant des difficultés assez grandes dans certaines plantes; par exemple, les étamines sont très sujettes à varier soit par le nombre, soit par la grandeur, en sorte

que les divisions établies sur ces caractères ne sont bonnes qu'autant que ceux-ci sont constants. Un reproche bien grand que l'on peut faire à ce système, c'est de placer souvent dans des classes bien distinctes des plantes qui ont souvent les affinités naturelles les plus prononcées ; par exemple, la famille des graminées, que tous les botanistes regardent avec raison comme l'une des plus naturelles, se trouve dispersée dans la monandrie, la diandrie, la triandrie, l'hexandrie, la monœcie, la diœcie et la polygamie de Linnée. Les labiées sont placées et dans la diandrie et dans la didynamie. On conçoit d'après cela pourquoi la méthode naturelle a dû et doit prévaloir.

MÉTHODE DE JUSSIEU.

En traitant des classifications en général, nous avons donné la marche de l'esprit humain pour arriver à une méthode naturelle. Il ne nous reste donc plus qu'à faire connaître la *méthode naturelle* établie par M. A. L. de Jussieu.

L'association des genres en familles naturelles était déjà regardée comme le but des botanistes philosophes. Linnée avait proclamé ce principe, Bernard de Jussieu l'avait mis en pratique en formant le jardin de Trianon. Plusieurs autres botanistes s'en servaient dans leurs ouvrages sur les végétaux ; mais aucun n'y parvint aussi complétement que M. A. L. de Jussieu dont le *Genera plantarum* sera toujours un des plus beaux monuments élevés à la science.

Cette méthode comprend quinze classes principales qui sont divisées en un nombre de familles plus ou moins considérable.

Dans la première, il a placé, sous le nom de plantes *acotylédones*, tous les végétaux dont l'embryon ne présente aucune trace de cotylédons (champignons, algues, etc.).

Considérant ensuite que, dans les monocotylédones, l'insertion des étamines est *hypogynique*, *périgynique* et *épigynique*, il a formé trois autres classes qui sont les monocotylédones *à étamines hypogynes*, *à étamines périgynes* et *à étamines épigynes.*

Les plantes dicotylédones, plus nombreuses, ont d'abord été divisées en *diclines irrégulières* ou unisexuelles qui forment la 15e classe, et en *monoclines* ou hermaphrodites, dans lesquelles il a trouvé dix classes d'après les considérations suivantes ; ces plantes ayant tantôt un périanthe simple et tantôt un périanthe

double dont la corolle peut être monopétale ou polypétale, il lui a été facile d'établir trois nouvelles divisions : les *dicotylédones apétales*, *monopétales* et *polypétales*, dans chacune desquelles l'insertion *hypogynique*, *périgynique* et *épigynique* des étamines en fournissait trois autres.

Faisons remarquer ici que la corolle, étant de la même nature que les filets des étamines, a toujours avec ces derniers une origine commune; dès lors, si les étamines sont portées par la corolle, ce qui a toujours lieu quand celle-ci est monopétale, leur insertion est déterminée par l'insertion même de cette enveloppe florale, et appelée alors *médiate;* tandis qu'on la dit *immédiate* quand les filets ne lui sont point adhérents.

Parmi les plantes *dicotylédones à corolle monopétale épigyne* il en est dont les étamines sont réunies par les anthères, pendant que les autres ont les étamines entièrement libres. Ces caractères ont servi à M. de Jussieu à former deux nouvelles divisions qui complètent les 15 classes que nous présentons dans le tableau suivant.

MÉTHODE DE JUSSIEU.

Acotylédones.

1.	Acotylédonie.

Monocotylédones.

Etamines hypogynes.	2.	Monohypogynie.
— périgynes	3.	Monopérigynie.
— épigynes.	4.	Monoépigynie.

Dicotylédones.

Monoclines	tale	Étamines épygynes.		5.	Epistaminie.
		— périgynes.		6.	Péristaminie.
		— hypogynes.		7.	Hypostaminie.
	corolle monopétale	corolle hypogyne.		8.	Hypocorollie.
		— périgyne.		9.	Péricorollie.
		corolle épigyne	anthères réunies. . . .	10.	Epicorollie. Synanthérie.
			anthères distinctes. . .	11.	Epicorollie. Corysanthérie.
	corolle polypétale	Etamines épigynes.		12.	Epipétalie.
		— hypogynes.		13.	Hypopétalie.
		— périgynes		14.	Péripétalie.
Diclines				15.	Diclinie.

13° INDIQUER SOMMAIREMENT LA DISTRIBUTION DES RACES VÉGÉTALES A LA SURFACE DU GLOBE, ET LES PRINCIPALES CAUSES QUI PRÉSIDENT A CET ARRANGEMENT.

Les familles végétales sont plus ou moins abondantes sous les différentes latitudes et dans les divers lieux de la terre; ainsi en allant des pôles à l'équateur, nous voyons augmenter le nombre des *malvacées*, des *euphorbiacées* et des *composées;* les *labiées*, les *ombellifères*, les *amentacées*, les *crucifères*, semblent appartenir aux zones tempérées; les dernières surtout disparaissent entièrement dans la zone torride. Les *orchidées* d'Europe, pour la plupart, ne se trouvent que dans les bois ombragés et humides. Les *saxifrages*, les *primevères*, les *gentianes*, préfèrent au contraire certaines montagnes à terrain calcaire, etc.

Si nous recherchons quelle est la distribution des grandes classes du règne végétal sur tout le globe, nous trouvons que les plantes *agames* sont aux *phanérogames* dans la proportion de 1 à 7; dans les contrées équinoxiales, de 1 à 5; dans les climats tempérés, de 2 à 5; dans la Nouvelle-Hollande, de 2 à 11; en France, de 1 à 2; dans la Laponie, le Groenland, l'Islande et l'Écosse, en proportion égale. Les *monocotylédones*, sur toute la surface du globe, sont aux *dicotylédones*, comme 2 à 9; de l'équateur jusqu'au 30e degré de latitude nord, comme 1 à 5. A mesure qu'on s'éloigne de l'équateur, le nombre des dicotylédones diminue, en sorte qu'il est moitié moindre par 60° de latitude nord, et 50° de latitude sud. Nous n'avons pas encore des données suffisantes pour établir à cet égard des règles applicables à toutes les régions du globe, mais nous pouvons le faire pour quelques parties de l'Europe. Ainsi, dans le tableau suivant, on aura l'aperçu général des proportions relatives des espèces appartenant aux principales familles naturelles, en France, en Allemagne et en Laponie. Quant aux cryptogames, on ne les étudie que depuis trop peu de temps, pour que l'on ait pu tenter pour elles un pareil travail.

FAMILLES.	FRANCE.	ALLEMAG.	LAPONIE.
Cypéracées.	134	102	55
Graminées.	284	143	49
Joncées.	42	20	20
Orchidées.	54	44	11
Labiees.	149	72	7
Schrofulariées.	147	76	17
Borraginées.	49	26	6
Composées.	490	233	38
Ombellifères	170	86	9
Crucifères	190	106	22
Malvacées	25	8	»
Caryophyllées.	165	71	29
Légumineuses.	230	96	14
Euphorbiacées.	51	18	1
Amentacées.	69	48	23
Conifères	19	7	3
Phanérogames.	3645	1884	497

Maintenant si l'on considère que les montagnes, même celles de la zone torride, présentent souvent, depuis leur base jusqu'à leur sommet, les végétaux que l'on rencontre depuis l'équateur jusqu'aux pôles; que nous sommes en outre parvenus à reproduire dans nos serres, suivant la température, le degré d'humidité et la nature des terrains que nous leur donnons, une infinité de plantes de tous les climats; nous devrons certainement en conclure que les différences géographiques que présentent les végétaux dépendent presque uniquement des différents degrés de chaleur, de lumière et d'humidité qu'ils reçoivent, ainsi que de la nature du terrain qui les nourrit et de l'influence des divers phénomènes météoriques qui se passent dans la nature. Ajoutons cependant qu'il existe un grand nombre de plantes vraiment cosmopolites qui s'accommodent à tous les climats et à toutes les localités.

On a observé que sous une basse température, la chaleur intérieure des arbres était toujours plus élevée que celle de l'atmosphère; on sait encore que la faculté de résister au froid augmente dans les végétaux en raison du nombre et de la densité des couches ligneuses, ainsi que de la nature résineuse des sucs propres. Cette circonstance nous explique pourquoi nous voyons dans le nord des *bouleaux* munis d'une multitude d'épidermes, et des *conifères* remplis de sucs résineux; tandis que les pays chauds nous offrent des plantes annuelles d'une hauteur prodigieuse et des végétaux gorgés de sucs sous un épiderme si mince qu'il pourrait à peine les protéger contre le froid le plus léger.

La *chaleur* est la cause principale qui détermine la *distribution géographique* des plantes; aussi voyons-nous que les moyens d'*acclimatation* et de *naturalisation* que l'homme met en œuvre, ont fait décupler les richesses végétales de certains pays. Au contraire, nous ne voyons pas naturellement celles des tropiques gagner de proche en proche les climats tempérés, et beaucoup de végétaux des pays froids ne quittent qu'à regret leur région glacée.

L'humidité ou l'eau agit sur les végétaux d'une manière remarquable. Les uns absorbent une très grande quantité d'eau; les autres n'en demandent que fort peu. Les premiers, vivant dans des localités humides, ont un tissu lâche et spongieux, des feuilles molles présentant de grandes surfaces et dépourvus de poils; les seconds, habitant les lieux seçs, sont très denses; leurs feuilles sont petites, velues, et leur végétation lente; dès lors on doit concevoir que les premières ne pourront pas plus s'accommoder des localités des secondes, que celles-ci ne pourront s'habituer à vivre dans les lieux les plus humides.

Le *sol*, par sa composition chimique et sa consistance, doit nécessairement influer sur la végétation, mais cette influence peut être modifiée par l'une des deux causes précédentes. On sait, en effet, que telles plantes prospèreront malgré la nature désavantageuse du sol, pourvu que celui-ci ait une bonne exposition, tandis qu'un terrain semblable mal exposé sera stérile. Les *salicornes*, les *soudes*, etc., ne peuvent vivre que sur les bords de la mer et des sources salées, où elles rencontrent un sel de soude nécessaire à leur constitution. Les *graminées* croissent de préférence dans un terrain siliceux. Les *solanées*, les *crucifères* et les *champignons* préfèrent des terrains imprégnés de

matières animalisées, etc. Ces exemples suffisent pour faire comprendre qu'une plante originaire d'une localité qui se transporte dans une autre et qui y vit, doit y subir une sorte d'acclimatation qui peut lui faire éprouver des modifications plus ou moins considérables dans sa taille, sa consistance, sa couleur, le développement et la forme même de ses organes.

Indépendamment des causes précédentes, nous sommes forcés de reconnaître l'existence de plusieurs autres qui seront peut-être toujours cachées pour nous, et qui ont une influence très marquée sur la distribution géographique des végétaux.

14°. ENFIN, DONNER DES NOTIONS GÉNÉRALES SUR L'EMPLOI DES VÉGÉTAUX POUR LES BESOINS ET LES JOUISSANCES DE L'ESPÈCE HUMAINE.

MONOHYPOGINIE.

AROIDES. — Tige réduite, dans les aroïdes de nos climats, à un tubercule charnu placé au collet, et qu'on regarde ordinairement comme une racine d'où partent les feuilles. Fleurs hermaphrodites ou unisexuées, portées sur un spadice revêtu ou non d'une spathe monophylle, tantôt nues et tantôt offrant un périgone divisé; nombre d'étamines variable; ovaire le plus souvent uniloculaire, surmonté d'un stigmate glanduleux; baie ou capsule uniloculaire, monosperme, ou polysperme; périsperme charnu et recouvrant à peine la radicule.

Us. Acore aromatique, Acorus calamus. (Méd. rac.)
Pied de veau, Arum maculatum. (Méd. rac.)

GRAMINÉES. — Tige (chaume) cylindrique, ordinairement creuse, marquée de distance en distance de nœuds solides, chacun de ces nœuds donnant naissance à une feuille dont la base enveloppe la tige par une gaîne fendue longitudinalement. Fleurs hermaphrodites ou unisexuelles, disposées en épi ou en panicule, et toujours composées d'écailles un peu foliacées, situées sur un ou plusieurs rangs (glume, glumelle, glumellule, voir page 591); étamines, le plus souvent au nombre de trois, à anthères oblongues; ovaire unique, libre, souvent entouré d'une glumelle, et couronné par un stigmate double et plumeux. Le fruit est un cariopse; l'embryon est attaché à la base d'un périsperme farineux bien plus grand que lui.

Us.	Froment,	Triticum sativum.	(Us. écon. sem.)
	Chiendent,	— repens.	(Méd. rac.)
	Seigle,	Secale cereale.	(Us. écon. sem.)
	Orge,	Hordeum vulgare.	(Méd. sem.)
	Avoine,	Avena sativa.	(Us. dom. sem.)
	Canne à sucre.	Saccharum officinarum.	(Us. écon. tig) etc.

CYPÉRACÉES. — Plantes croissant dans l'eau et assez semblables aux graminées par leur port; tige cylindrique ou triangulaire, ordinairement dépourvue de nœuds. Feuilles étroites formant une gaîne entière; fleurs hermaphrodites ou unisexuelles, disposées en épi ou en chaton, et situées dans l'aisselle d'une écaille faisant la fonction de calice; étamines au nombre de trois; ovaire simple, libre, surmonté d'un style qui se termine par deux ou trois stigmates, entouré quelquefois à la base de soies plus ou moins nombreuses et susceptibles, dans quelques genres, de prendre un très grand accroissement. Le fruit est un akème contenant une graine dont le périsperme est farineux et l'embryon extraire.

Us.	Souchet long,	Cyperus longus.	(Méd. rac.)
	— rond,	— rotundus.	(Méd. rac.)
	Laiche des sables,	Carex arenaria.	(Méd. rac.) etc.

MONOPÉRYGINIE.

PALMIERS.—Ces végétaux croissent dans les climats les plus chauds; leur tige est un stipe dont les feuilles, en forme de palmes ou d'éventail, sont rassemblées au sommet, où elles représentent une sorte de bouquet. Fleurs hermaphrodites, monoïques ou dioïques, naissant du centre des feuilles, et renfermées avant la floraison dans des spathes composées d'une ou de plusieurs pièces; périgone monophylle, persistant, à six divisions, dont trois intérieures et pétaloïdes, un peu plus grandes que les extérieures; étamines ordinairement au nombre de six, ayant leurs filaments légèrement réunis à la base; ovaire supère, unique, rarement triple, surmonté d'un à trois styles, et terminé par un stigmate simple ou trifide. Le fruit est une baie ou drupe, uni ou triloculaire, renfermant une ou trois graines; l'embryon est petit et est renfermé dans un périsperme qui, d'abord mou et souvent liquide, devient ensuite corné, et quelquefois est creux et plein de liquide.

Us. Dattier, Phœnix dactylifera. (Méd. fruit.)
Sagouier, Sagus rumphii. (Méd. moelle.)

ASPARAGÉES. — Tige ordinairement sarmenteuse et grimpante; feuilles simples, sessiles ou pétiolées, opposées alternes ou verticillées, rarement engaînantes. Fleurs hermaphrodites ou unisexuelles; périgone simple, libre ou adhérent, offrant six divisions, quelquefois quatre et huit; étamines aussi nombreuses que les divisions du périgone; ovaire simple, le plus souvent supère, couronné par un style simple ou trifide ou par trois stigmates; baie à trois ou quatre loges, contenant une, deux ou plusieurs graines; embryon placé à la base d'un périsperme corné.

Us. Asperge, Asparagus officinalis. (Méd. rac., Méd. et art. cul. jeunes pousses.)
Salsepareille, Smilax officinalis. (Méd. rac.)
Squine, — china. (Méd. rac.)
Petit-houx, Ruscus aculeatus. (Med. rac.) etc.

COLCHICACÉES. — Périgone simple, libre, pétaloïde, à six divisions profondes; six étamines attachées à la base ou au milieu des divisions du périgone; ovaire ordinairement simple, triloculaire, portant trois styles ou un style à trois stigmates. Le fruit est une capsule trivale dont les bords se replient vers l'intérieur et forment autant de loges qui s'ouvrent vers le sommet du côté intérieur; graines nombreuses, attachées sur deux séries au bord rentrant des valves; l'embryon est entouré d'un périsperme charnu.

Us. Colchique, Colchium autumnale. (Méd. bulbe.)
Ellébore blanc, Veratum album. (Méd. rac.)
Cévadille, — sabadilla. (Méd. fruit.)

LILIACÉES. — Presque toutes les liliacées sont des herbes à feuilles entières, engaînantes et munies de nervures parallèles; la tige est souvent allongée, cylindrique, chargée de feuilles, et pourvue à sa base de racines fibreuses ou bulbifères. Les fleurs sont quelquefois nues, parfois munies chacune d'une bractée, ou bien réunies, avant leur épanouissement dans une spathe commun; le périgone, lorsqu'il existe, est pétaloïde, formé de six pièces quelquefois soudées par leurs bases; étamines au nombre de six; ovaire simple à trois loges, surmonté d'un style simple, ou à son défaut, d'un stigmate ordinairement trilobé. Le fruit est une capsule à trois valves et à trois loges polyspermes; em-

bryon droit ou courbé, placé dans un périsperme charnu ou cartilagineux.

Us.	Ail commun,	Allium sativum	(Méd. et us. écon. bulbes.)
	Oignon.	— cepa.	(Méd. et us. écon. bulbes.)
	Scille officinale,	Scilla maritima.	(Méd. bulbes.)
	Aloès,	Aloe spicata perfoliata.	(Méd. suc épaissi, aloès.) etc.

NARCISSÉES. — Le port de ces plantes est très analogue à celui des liliacées. Les fleurs sont ordinairement renfermées, avant leur épanouissement, dans des spathes membraneuses, sèches et monophylles; périgone pétaloïde, dont la gorge est quelquefois garnie d'un nectaire pétaloïde concave; six étamines, un ovaire infére à trois loges, contenant plusieurs ovules, un style et un stimagte quelquefois trilobé. Le fruit est ordinairement une capsule trivalve et trilocutaire polysperme; quelquefois cependant c'est une baie à trois loges et à trois graines; embryon renfermé dans un périsperme corné ou charnu.

Us.	Narcisse des prés.	Narcissus pseudo-narcissus.	(Méd. fleurs.)
	Jonquille,	Narcissus jonquilla.	(Fl. d'agrém.)
	Galanthine,	Galanthus nivalis.	
	Tubereuse,	Polyanthes tuberosa, etc.	

IRIDÉES. — Ce sont des plantes herbacées, à racines bulbifères, tubérifères ou fibreuses; la tige, souvent comprimée, est nue ou revêtue de feuilles; celles-ci, tantôt radicales, tantôt caulinaires, sont simples, entières, engaînantes à leur base, alternes et comprimées. Les fleurs naissent renfermées dans des spathes membraneuses qui ont presque toujours deux valves; le périgone est simple, pétaloïde, adhérent à l'ovaire, à six divisions plus ou moins profondes, souvent irrégulières et disposées sur deux rangs; les étamines, constamment au nombre de trois, sont attachées à la base des trois divisions externes du périgone; leurs anthères sont droites et s'ouvrent du côté extérieur; l'ovaire est infère et porte un style simple ou trifide, dont chacune des divisions est terminée par un stigmate ordinairement plane et pétaloïde. Le fruit est une capsule à trois valves et à trois loges, renfermant plusieurs graines disposées sur deux

angées longitudinales; embryon droit et situé dans un périsperme presque cartilagineux.

Us. Safran, Crocus sativus. (Arts, méd. stigmate.)
Iris de Florence, Iris florentina. (Méd. rac.)
La plupart sont des plantes d'agrément.

MONOÉPIGYNIE.

ORCHIDÉES. — Racines quelquefois fibreuses, mais ordinairement composées de tubercules arrondis ou lobés; tige le plus souvent simple, cylindrique et herbacée, parfois grimpante et parasite. Feuilles engaînantes à leur base, entières, marquées de nervures parallèles. Les fleurs sont disposées en épis ou quelquefois en grappes terminales; le périgone est adhérent avec l'ovaire; partagé en six divisions pétaloïdes, dont l'inférieure, très différente des autres par une forme qui lui est particulière, a reçu le nom de labillum. Ce périgone se termine souvent à sa base par un prolongement creux plus ou moins long, fait en forme de cornet et connu sous le nom d'éperon. Du milieu de la fleur, on voit s'élever une colonne qu'on regarde comme le style, et qui porte en même temps les organes mâles et femelles; on ne compte ordinairement qu'une anthère à une, deux ou quatre loges, insérée sur le style et renfermant un pollen composé d'une masse de petits globules pédicellés ou sessiles, qui crèvent, à leur maturité, sur le stigmate; celui-ci est une tache arrondie et visqueuse placée à la base, sur le côté ou au sommet du style; l'ovaire est infère et renferme un très grand nombre d'ovules. Le fruit est une capsule polysperme à une loge, à trois valves; l'embryon est placé à la base du périsperme charnu.

Us. Salep, Orchis mascula, etc. (Méd. tuber.)
Vanille aromatique, Vanilla aromatica. (Méd. fruits.)
Faham, Angræcum fragrans. (Méd. feuilles.)

ÉPISTAMINIE.

ARISTOLOCHIÉES. — Plantes herbacées ou ligneuses, quelquefois parasites. Racine ordinairement tubéreuse; tige droite, couchée ou volubile; feuilles simples et alternes. Les fleurs sont presque toujours placées aux aisselles des feuilles; leur périgone est simple, entier ou divisé, adhérent avec l'ovaire, un peu coloré

à la face interne; étamines en nombre déterminé, insérées sur le pistil, et ordinairement dépourvues de filaments; ovaire infère, terminé par un style court et un stigmate divisé. Le fruit est une capsule ou une baie à plusieurs loges et à plusieurs graines. Embryon petit, situé vers l'ombilic ou à la base d'un périsperme cartilagineux.

Us. Serpentaire de Virginie, Aristolochia serpentaria. (Méd. rac.)
Aristoloche longue, — longa. (Méd. rac.)
— ronde, — rotunda. (Méd. rac.)
Cabaret, Asarum Europæum. (Méd. feuill. et rac.)

PÉRISTAMINIE.

LAURINÉES. — Ce sont des arbres ou des arbrisseaux dont toutes les parties sont aromatiques. Leurs feuilles sont toujours simples, alternes et quelquefois opposées, souvent persistantes. Les fleurs sont hermaphrodites ou dioïques par avortement, disposées en ombelle ou en panicule; le périgone est persistant, monosépale, à six divisions et rarement à huit; les étamines sont tantôt au nombre de six insérées au bas du périgone, tantôt au nombre de douze, dont six forment un rang interieur; les anthères adhèrent au filament dans toute leur longueur, et s'ouvrent de la base au sommet; l'ovaire et libre, a un style terminé par un stigmate simple ou divisé. Le fruit est une drupe ou une baie à une loge et à une graine; point de périsperme; embryon droit et accompagné de grands cotylédons.

Us. Cannelle, Laurus Cinnamomum (Méd. écorce et feuilles.)
Camphre, — Camphora. (Méd. huile essentielle retirée du bois, etc.)
Sassafras, — Sassafras. (Méd. rac.)
Laurier d'Apollon, — nobilis. (Méd. fruits et feuill., etc.)

POLYGONÉES. — Plantes herbacées, rarement ligneuses, à feuilles disposées en quinconce, dont le pétiole engaîne la tige au moyen d'une membrane qui se prolonge d'ordinaire entre la tige et le pétiole.

Les fleurs, diversement disposées sur la plante, sont presque toujours hermaphrodites; leur périgone, souvent coloré, est formé d une seule pièce à plusieurs divisions; les étamines sont en nombre déterminé, insérées à la base du périgone, et ayant

des anthères qui s'ouvrent longitudinalement; l'ovaire est simple, libre, et porte plusieurs styles ou plusieurs stigmates sessiles. Le fruit est presque toujours un akène triangulaire, recouvert par le périgone, et renfermant un embryon latéral ou central, quelquefois un peu courbé; le périsperme est farineux.

Us. Rhubarbe, Rheum palmatum, australe, compactum, undulatum, etc. (Méd. et teint. rac.)

Sarrasin,	Polygonum fagopyrum	(Us. écon. sem.)
Bistorte,	— bistorta.	(Méd. rac.)
Oseille,	Rumex acetosa.	(Méd. et art culin. feuill. et racines.)
Patience,	— patientia.	(Méd. rac.)

HYPOCOROLIE.

PRIMULACÉES. — Les primulacées sont des herbes, en général, vivaces par leurs racines, et dont la tige est quelquefois si courte, que les feuilles paraissent toutes radicales; celles-ci sont ordinairement opposées, quelquefois verticillées ou alternes. Les fleurs sont tantôt portées sur des pédicelles axillaires, tantôt disposées en ombelle sur un pédoncule radical; calice persistant, monosépale, offrant quatre ou cinq divisions plus ou moins profondes; corolle monopétale, ordinairement régulière, ayant autant de divisions que le calice; étamines en nombre égal à celui des lobes de la corolle, et placées devant chacun d'eux; ovaire simple, libre, surmonté d'un style et d'un stigmate simple. Le fruit est une capsule uniloculaire, s'ouvrant par le sommet en plusieurs valves; embryon droit, placé au milieu d'un périsperme charnu.

Us. Primevère, Primula veris. (Méd. fleurs.)

Beaucoup d'autres espèces sont des plantes d'ornement.

RHINANTHACÉES. — Ces plantes sont presque toutes herbacées, et remarquables par la couleur noire qu'elles acquièrent en se desséchant. Leurs feuilles sont simples, opposées ou alternes, parfois remplacées par des écailles; fleurs quelquefois axillaires, souvent en épis pédonculés et axillaires; calice persistant, offrant plus ou moins de divisions; corolle le plus souvent irrégulière, souvent bilabiée; étamines au nombre de deux, quatre ou huit, insérées sur la corolle (lorsqu'elles sont au nombre de quatre, deux sont constamment plus courtes);

anthères souvent munies de soies épineuses à leur base; ovaire, style et stigmate simples. Fruit capsulaire bivalve; périsperme charnu; embryon droit, et cotylédons demi-cylindriques.

Us. Thé d'Europe,	Veronica officinalis.	(Méd. tige, feuill. et fl.)
Bécabunga,	— becabunga.	(Méd. tige, feuill. et fl.)
Euphraise,	Euphrasia officinalis.	(Méd. tige, feuill. et fl.)

LABIÉES. — Plantes herbacées ou ligneuses, douées d'une saveur forte et amère, et d'une odeur aromatique; racine fibreuse; tige tétragone, à rameaux opposés, à feuilles simples et opposées; fleurs axillaires, solitaires, terminales ou verticillées, disposées en tête, en corymbe ou en épi, souvent entourées de bractées particulières; calice persistant, tubuleux, bilabié; corolle tubuleuse, irrégulière, bilabiée; quatre étamines insérées sur la corolle, dont deux plus courtes et souvent même avortées; ovaire libre, simple, à quatre lobes, d'entre lesquels s'élève un style simple, terminé par deux stigmates pointus. Le fruit est, suivant M. Richard, un tétrakène; M. de Candolle lui donne le nom de fruit gynobasique; le périsperme est nul; l'embryon est droit, à radicule inférieure, et à cotylédons planes.

Us. Romarin,	Rosmarinus officinalis.	(Méd. feuilles.)
Sauge,	Salvia officinalis.	
Menthe poivrée,	Mentha piperita.	
Pouliot,	— pulegium.	
Hysope,	Hyssopus officinalis.	
Lierre terrestre,	Glechoma hederacea.	
Mélisse,	Mellissa officinalis.	
Lavande,	Lavendula vera, etc.	

Les sommités fleuries de toutes ces plantes sont seulement usitées en médecine; quelques unes sont cultivées comme plantes d'agrément.

PERSONNÉES. — Tige ordinairement herbacée, à feuilles opposées, quelquefois verticillées ou alternes. (Les feuilles des plantes de cette famille ont, en général, une saveur et une odeur un peu nauséabondes.) Fleurs disposées en épi, en panicule ou en corymbe; calice monosépale, souvent persistant, divisé; corolle irrégulière, personnée; quatre étamines didynames, rarement deux (quelquefois on trouve le rudiment d'une cinquième); ovaire simple et libre, surmonté d'un seul style et d'un stigmate simple ou bilobé. Fruit capsulaire, s'ouvrant en deux valves,

quelquefois s'ouvrant seulement par le sommet; graines nombreuses, embryon droit, périsperme charnu.

Us. Scrofulaire aquatique,	Scrofularia aquatica.	(Méd. rac.)
Digitale,	Digitalis purpurea.	(Méd. feuil. et fleurs.)
Gratiole,	Gratiola officinalis.	(Méd. tiges, feuil. et fl.)
Bouillon blanc,	Verbascum thapsus.	(Méd. feuil. et fleurs.)

SOLANÉES. — Plantes herbacées ou ligneuses, d'un aspect sombre et obscur. Feuilles alternes et quelquefois géminées à la partie supérieure. Fleurs souvent axillaires; le calice est persistant, à cinq divisions; la corolle est régulière, en roue, en cloche ou en entonnoir; cinq étamines insérées à la base de la corolle; ovaire libre, terminé par un style et un stigmate simples ou bilobés. Le fruit est une capsule à deux valves, ou une baie à deux ou plusieurs loges; les graines sont petites et nombreuses; l'embryon est courbé autour d'un périsperme farineux.

Us. Belladone,	Atropa belladona.	(Méd. feuill. et sem.)
Pomme de terre,	Solanum tuberosum.	(Us. écon. tubercule.)
Douce amère,	— dulcamara.	(Méd. tiges.)
Morelle,	— nigrum.	(Méd. tiges, feuilles.)
Alkékenge,	Physalis alkekengi.	(Méd. fruits.)
Tabac,	Nicotiana tabacum.	(Us. écon. feuilles.)
Jusquiame,	Hyosciamus niger.	(Méd. feuilles, etc.)

BORRAGINÉES. — Plantes ordinairement herbacées, annuelles ou vivaces, recouvertes de poils roides; feuilles simples, alternes, sessiles, scabres; fleurs quelquefois solitaires ou extra-axillaires, souvent unilatérales et roulées en crosse avant leur épanouissement; calice persistant, à cinq divisions plus ou moins profondes; corolle monopétale en roue, en cloche, en entonnoir ou en soucoupe, à cinq divisions régulières, et fermée quelquefois à sa gorge par cinq appendices particuliers; cinq étamines insérées sur le tube de la corolle; ovaire à quatre lobes distincts, du milieu desquels s'élève un style simple, persistant, terminé par un stigmate simple ou bilobé. Le fruit est composé de quatre petites noix ou cariopses uniloculaires, monospermes; l'embryon est droit, le périsperme nul.

Us. Bourrache,	Borrago officinalis.	(Méd. feuilles et fleurs.)
Buglosse,	Anchusa italica.	(Méd. feuilles.)

Orcanette,	Anchusa tinctoria.	(Us. écon. rac.)
Cynoglosse,	Cynoglossum officinale.	(Méd. rac.)
Consoude,	Symphytum officinale.	(Méd. rac.)

CONVOLVULACÉES. — Tige herbacée ou ligneuse, souvent sarmenteuse et grimpante, renfermant quelquefois un suc propre laiteux ; feuilles simples et alternes; fleurs en cloche, diversement disposées; calice persistant, à cinq divisions; corolle monopétale, régulière, à cinq divisions; cinq étamines insérées à la base de la corolle, et alternes avec ses divisions; ovaire simple et libre; un ou plusieurs styles; stigmate simple ou divisé. Fruit capsulaire à deux, trois ou quatre loges, s'ouvrant en autant de valves, et contenant une ou plusieurs graines presque osseuses; embryon pourvu d'un périsperme mucilagineux.

Us. Jalap,	Convolvulus officinalis.	(Méd. rac.)
Scammonée d'Alep,	— scammonia.	(Méd. suc épaissi.)
Turbith,	— turpethum.	(Méd. rac.)

Plusieurs convolvulus et ipomœa sont cultivés comme plantes d'ornement.

GENTIANÉES. — Tige herbacée et glabre; feuilles simples, opposées et entières; fleurs terminales ou axillaires, souvent accompagnées de bractées foliacées; calice persistant, divisé; corolle monopétale, souvent marcescente, à cinq divisions égales; étamines ordinairement au nombre de cinq, insérées sur le tube de la corolle, et alternes avec ses lobes; ovaire supère, simple ou à deux bosses, surmonté d'un style simple ou bifide, et d'un stigmate simple ou lobé. Fruit capsulaire à deux valves, à une ou deux loges, formées par le bord rentrant des valves; graines petites et nombreuses; embryon droit, placé au centre d'un périsperme charnu.

Us. Gentiane jaune,	Gentiana lutea.	(Méd. rac.)
Petite centaurée,	Erythrea centaurium.	(Méd. sommités.)
Trèfle d'eau,	Menianthes trifoliata.	(Méd. feuilles.)

APOCYNÉES. — Tige herbacée ou ligneuse, contenant le plus souvent un suc laiteux, âcre et stimulant; feuilles opposées, quelquefois alternes; les fleurs sont terminales ou axillaires, solitaires ou en corymbe; calice persistant, à cinq divisions; corolle monopétale, régulière, caduque, à cinq divisions, offrant souvent à l'entrée du tube quelques appendices particuliers; cinq étamines insérées à la base du tube, alternes avec les lobes de la

corolle; ovaire simple ou double, placé sur un disque glanduleux; un ou deux styles souvent très courts; un stigmate de forme variée. Quand il n'y a qu'un ovaire, le fruit est une baie ou une capsule biloculaire et polysperme; s'il y a deux ovaires, le fruit est formé de deux follicules uniloculaires, allongés, un peu renflés vers le milieu, et s'ouvrant par une fente longitudinale placée du côté interne; graines nombreuses, souvent surmontées d'une aigrette de poils soyeux; embryon droit, périsperme charnu.

Us. Noix vomique,	Strychnos nux-vomica.	(M sem.)
Fève Saint-Ignace,	— ignatia.	(M. sem.)
Scammonée de Smyrne,	Periploca secamone.	(Méd. suc résineux épaissi.)
Dompte-venin,	Asclepias vinxe toxicum.	(M. rac.)

PÉRICOROLLIE.

ÉRICACÉES. — Arbres ou arbustes à feuilles alternes, opposées ou verticillées; fleurs en épis ou en grappes; calice monopétale, persistant, ordinairement libre et divisé; corolle monopétale, quelquefois profondément divisée, et même polypétale, souvent marcescente, ordinairement insérée près de la base du calice; étamines offrant le plus souvent la même insertion que la corolle, et en nombre double, égal ou moindre que celui des lobes de cette dernière; ovaire simple, rarement infère, surmonté d'un style et d'un stigmate ordinairement simples; fruit multiloculaire, polysperme, tantôt charnu, et ne s'ouvrant pas en valves distinctes, tantôt capsulaire, à quatre ou cinq valves; graines petites, en nombre déterminé ou indéterminé; embryon droit, périsperme charnu. Bruyères; arbustes d'agrément.

ÉPICOROLLIE-SYNANTHÉRIE.

SYNANTHÉRÉES. — Tiges herbacées ou frutescentes, quelquefois lactescentes, ainsi que les feuilles qui sont alternes ou opposées, entières ou divisées, et dépourvues de stipules; fleurs petites, hermaphrodites, unisexuées ou neutres, réunies en capitules, entourées à l'extérieur par une ou plusieurs rangées d'écailles, constituant un involucre nommé *calice commun* (périphoranthe, péricline), et dont l'ensemble constitue une *calathide*.

Chacune de ces petites fleurs est formée d'un calice qui paraît réduit à une membrane très fine, adhérente avec l'ovaire, et terminé à son sommet par un rebord membraneux, une aigrette écailleuse ou soyeuse; corolle monopétale, tantôt régulière en tube ou en entonnoir (*fleurons*), tantôt irrégulière et déjetée d'un seul côté en languette (*demi-fleurons*); cinq étamines synanthères; ovaire simple, infère, uniloculaire, surmonté d'un style qui porte un ou ordinairement deux stigmates. Le fruit est un akène de formes diverses, nu à son sommet, ou terminé par une aigrette; embryon droit, périsperme nul.

Elle est composée de trois tribus bien distinctes:

1° *Cynarocéphales.* Fleurs toutes formées de fleurons; on les dit *flosculeuses;* réceptacle garni de soies; style orné d'un bouquet de poils au-dessus de la bifurcation du stigmate.

Us. Bardane,	Arctium lappa.	(Méd. rac.)
Chardon bénit,	Centaurea benedicta.	(Méd. tiges et feuilles.)

2° *Chicoracées.* Plantes ordinairement lactescentes; capitules formées entièrement de demi-fleurons. (Semi-flosculeuses.)

Us. Laitue vireuse,	Lactuca virosa	(Méd. suc épaissi.)
Laitue cultivée,	— sativa.	(Us. écon. et méd. feuilles.)
Pissenlit,	Leontodan taraxacum.	(Us. écon. feuilles.)
Chicorée sauvage,	Cichorium intybus.	(Méd. feuill. et rac.)

3° *Corimbyfères.* Fleurs toutes flosculeuses ou bordées de demi-fleurons; réceptacle nu ou garni de soies ou de paillettes en nombre égal à celui des fleurs, style sans poils.

Us. Camomille noble,	Anthemis nobilis.	(Méd. fleurs.)
C. Pyrèthre,	— pyrethrum.	(Méd. rac.)
Absinthe,	Artemisia absinthium.	(Méd. feuilles.)
Armoise,	— vulgaris.	(Méd. feuilles.)
Semen contra,	— contra.	(Méd. fleurs.)
Arniea,	Arnica montana.	(Méd. fleurs et rac.)
Aunée,	Inula helenium.	(Méd. rac.)

ÉPICOROLLIE-CORISANTHÉRIE.

VALÉRIANÉES. — Plantes herbacées; racines très odorantes dans les espèces vivaces; feuilles opposées; fleurs nues en capitules ou en corymbe; calice adhérent; limbe denté ou roulé en dedans; corolle tubuleuse, quelquefois éperonnée, à cinq

lobes inégaux; une à cinq étamines; ovaire uniloculaire; style simple; stigmate ordinairement triparti; le fruit est un akène couronné par les dents du calice, ou par un aigrette plumeuse formée par le déroulement du limbe calicinal; embryon droit, dépourvu de périsperme.

Us. Valériane,	Valeriana officinalis.	(Méd. rac.)
Valériane celtique,	— celtica.	(Méd. rac.)

RUBIACÉES. — Tige herbacée, frutescente ou arborescente; feuilles entières, verticillées ou opposées (dans ce dernier cas il existe des stipules intermédiaires); fleurs diversement disposées sur la tige; calice monosépale, à quatre ou cinq divisions, rarement entier; corolle monopétale, régulière, en roue ou en entonnoir, à quatre ou cinq lobes; étamines, au nombre de quatre ou cinq, insérées sur le tube de la corolle, et alternes avec ses divisions; ovaire infère, surmonté d'un style à deux stigmates. Fruit capsulaire ou bacciforme, à deux ou plusieurs loges mono ou polyspermes, souvent formé de deux coques monospermes et indéhiscentes; embryon petit, oblong, contenu dans un périsperme grand et corné.

Us. Café,	Coffea arabica.	(Us. écon. et méd. semence.)
Ipécacuanha,	Cœphœlis ipechacuanha.	(Méd. rac.)
Quinquina gris,	Cinchona condaminea.	(Méd. écorces.)
— jaune,	— cordifolia.	(Méd. écorces.)
— rouge,	— oblongifolia.	(Méd. écorces.)
Cainça,	Chiococca racemosa.	(Méd. rac.)
Garance,	Rubia tinctorum.	(Teint. rac.)

ÉPIPÉTALIE.

OMBELLIFÈRES. — Plantes en général vivaces par leurs racines; tiges herbacées, fistuleuses, rarement frutescentes; feuilles alternes, plus ou moins profondément découpées, portées sur des pétioles élargis et engaînants à leur base. Fleurs petites, ordinairement blanches, quelquefois jaunes ou purpurines, le plus souvent hermaphrodites, disposées en ombelle qui souvent est garnie à sa base d'un involucre; calice adhérent, entier et peu visible, à cinq dents; corolle à cinq pétales égaux ou inégaux, échancrés ou fléchis en forme de cœur; cinq étamines insérées sur l'ovaire; celui-ci est adhérent, surmonté d'un disque

épigyne, d'où s'élèvent deux styles persistants et terminés par un très petit stigmate. Le fruit est formé de deux akènes attachés par leur sommet à un axe central filiforme et se séparant d'eux-mêmes à leur maturité; embryon très petit, périsperme ligneux.

Us. Anis,	Pimpinella anisum.	(Méd. sem.)
Carvi,	Carum carvi.	(Méd. sem.)
Angélique,	Angelica archangelica.	(Méd. tiges et sem.)
Persil,	Apium petroselinum.	(Méd. et us. écon, feuil. et rac.)
Coriandre,	Coriandrum sativum.	(Méd. fruits.)
Assa-fœtida,	Ferula assa-fœtida.	(Méd. suc concret)
Gomme ammoniaque,	Dorema ammoniacum.	(Méd. suc concret.)

HYPOPÉTALIE.

RENONCULACÉES. — Herbes ou sous-arbrisseaux sarmenteux; racines fibreuses ou tuberculeuses; feuilles alternes; fleurs grandes et d'une belle couleur; calice polysépale, souvent pétaloïde; corolle penta ou polypétale, quelquefois nulle; étamines nombreuses, insérées au-dessous des pistils, qui sont tantôt réunis en tête au centre de la fleur, tantôt solitaires ou groupés et soudés; chacun d'eux est uniloculaire, pluri-ovulé; style latéral; stigmate occupant le sommet du sillon dont est creusé le style à sa face interne; fruits: petits akènes comprimés, disposés en capitules, ou capsules agrégées ou distinctes, uniloculaires, polyspermes; embryon petit, logé dans la cavité d'un périsperme corné.

Us. Ellébore noir, Helleborus niger. (Méd. rac.)
Aconit napel, Aconitum napellus. (Méd. feuilles.)

Beaucoup de ces plantes servent comme ornement dans les jardins.

PAPAVÉRACÉES. — Tige ordinairement herbacée ou sous-frutescente, rameuse, contenant un suc propre, blanc, jaune ou rouge; feuilles alternes, simples ou divisées; fleurs ordinairement blanches ou rouges, solitaires ou terminales; calice à deux sépales caducs; corolle à quatre pétales chiffonnés avant l'épa-

ouissement, caducs; étamines nombreuses et libres; ovaire simple t libre, surmonté d'un stigmate divisé, le plus souvent sessile. 'ruit capsulaire, à une seule loge, ordinairement polysperme; mbryon droit, périsperme charnu.

Js. Opium, Papaver somniferum. (Méd. sem. et suc épaissi.)
Coquelicot, — rhœas. (Méd. pétales.)
Chélidoine, Chelidonium majus. (Méd. feuilles.)

CRUCIFÈRES. — Plantes en général herbacées, vivaces ou bisannuelles; racine souvent fusiforme et tubéreuse; feuilles alternes. Fleurs en corymbe, en panicule ou en épi; calice à quatre épales caducs; corolle cruciforme; six étamines tétradynames, lont les deux plus courtes sont opposées entre elles et placées levant les plus petites divisions du calice; ovaire simple, supère, erminé par un style ou par un stigmate simple ou bilobé. Fruit iliqueux ou siliculeux; embryon courbé, périsperme nul.

Us. Cresson de fontaine,	Sisymbrium nasturtium.	(Méd. et us., écon. tiges et feuilles.)
Moutarde noire,	Sinapis nigra.	(Méd. et us., écon. sem.)
Cochlearia,	Cochlearia officinalis.	(Méd. feuill.)
Choux,	Brassica oleracea.	(Us. écon. feuilles.)
Navet,	— napus.	(Us. écon. rac.)

SARMENTACÉES OU VINIFÈRES. — Tige ligneuse, sarmenteuse; feuilles garnies de stipules, dont les supérieures sont alternes et les inférieures opposées; fleurs en thyrse ou en grappe, dont les pédoncules se changent quelquefois en vrilles oppositifoliées; calice très court, presque entier; corolle formée de quatre à six pétales élargis à la base; étamines opposées aux pétales qu'elles égalent en nombre, et insérées sur la face extérieure du disque; ovaire simple, libre, surmonté d'un style et d'un stigmate, parfois sessile; le fruit est une baie uni ou pluriloculaire, mono ou polysperme; embryon droit, périsperme dur et charnu.

Us. Raisin, Vitis vinifera. (Us. écon. fruits.)

MALVACÉES. — Herbes, arbres ou arbrisseaux, à feuilles simples, souvent palmées ou digitées et garnies de stipules; fleurs axillaires ou terminales; calice ordinairement double, l'intérieur

à cinq pétales, l'extérieur offrant un nombre variable de divisions; corolle régulière à cinq pétales, tantôt distincts, tantôt soudés par la base avec la colonne des étamines; celles-ci sont nombreuses et hypogynes, à filets soudés inférieurement en un tube qui entoure le style, plus ou moins libre à leur sommet; ovaire simple, souvent multilobé; styles et stigmates en même nombre que les lobes de l'ovaire. Fruit composé d'une seule capsule pluriloculaire et multivalve, ou de plusieurs capsules, tantôt disposées circulairement, et tantôt agglomérées sur un réceptacle commun; graines solitaires ou nombreuses, dans chaque loge ou capsule; embryon droit, périsperme nul.

Us. Guimauve, Althæa officinalis. (Méd. toutes les parties.)
Mauve, Malva sylvestris. (Méd. toutes les parties.)

RUTACÉES. — Tige herbacée, rarement ligneuse, à feuilles alternes ou opposées, simples ou composées, souvent munies à leur base de deux stipules membraneuses; fleurs axillaires ou terminales; calice monosépale à cinq divisions; corolle à cinq pétales hypogynes, alternes avec les divisions du calice; étamines en nombre ordinairement double de celui des pétales; ovaire à quatre ou cinq loges, contenant un ou plusieurs ovules renversés; style simple, stigmate rarement divisé. Fruit formé de plusieurs loges ou de plusieurs capsules mono ou polyspermes; embryon droit, périsperme charnu, manquant quelquefois.

Us. Rue, Ruta graveolens. (Méd. sommités.)
Gayac, Guaïacum officinale. (Arts et méd. bois.) etc.

CARYOPHYLLÉES. — Plantes herbacées, rarement sous-frutescentes, à tiges noueuses et articulées; rameaux opposés, axillaires, naissant des nœuds de la tige, ainsi que les feuilles qui sont opposées, entières, souvent connées; fleurs terminales ou axillaires; calice persistant, monosépale, à cinq divisions et d'autres fois formé de cinq pièces bien distinctes; corolle à cinq pétales longuement onguiculés, alternes avec les divisions du calice; étamines ordinairement en nombre double de celui des pétales, rarement égal ou moindre, quelquefois légèrement soudées par leur base; ovaire simple, supère, terminé par un ou plusieurs styles et stigmates. Fruit capsulaire, le plus souvent polysperme, à une ou plusieurs loges, et à plusieurs valves; embryon roulé autour d'un périsperme farineux, ou droit dans ce périsperme.

Us. Saponaire,	Saponaria officinalis,	(Méd. toutes les parties.)
Œillet,	Dianthus caryophyllus.	(Méd. pétales, et ornement.)

PÉRIPÉTALIE.

ROSACÉES. — Arbres et herbes, à tige cylindrique et à branches alternes; feuilles simples ou composées, alternes et garnies de stipules. Fleurs disposées de diverses manières sur la tige; calice ordinairement persistant, libre ou adhérent à l'ovaire, formé de cinq pétales; corolle de cinq sépales, insérés au sommet du calice; étamines nombreuses, insérées sur le calice un peu au-dessous de la corolle; ovaire simple ou multiple, adhérent ou libre, surmonté de plusieurs styles et stigmates. Le fruit, très variable, est une drupe, une mélonide ou bien une quantité de petits akènes, ou de petites drupes réunis sur un gynophore; embryon droit, périsperme nul.

Us. Fraisier,	Fragaria vesca,	(Méd. rac. us. écon. fruits.)
Tormentille,	Tormentilla erecta.	(Méd. rac.)
Aigremoine,	Agrimonia eupatoria, etc.	(Méd. feuilles.)
Pommier,	Malus communis, etc.	(Us. écon. péricarpe.)
Poirier,	Pyrus communis, etc.	(Us. écon. péricarpe.)
Cerisier,	Cerasus vulgaris, etc.	(Us. écon. péricarpe.)
Rosier,	Rosa centifolia, etc.	(Plante d'agrément.)
Rose de Provins,	— gallica.	(Méd. pétales.)

LÉGUMINEUSES. — Herbes, arbrisseaux ou arbres, à feuilles alternes, ordinairement composées, digitées ou pinnées, accompagnées de deux stipules persistantes; inflorescence très variée; calice monosépale, tubuleux, denté au sommet ou en cloche, à cinq divisions profondes; corolle polypétale, papilionacée, c'est-à-dire composée de cinq pétales irréguliers, dont le supérieur plus grand se nomme *étendard*, les deux latéraux, *ailes*, et les inférieurs souvent soudés ensemble, *carène*; quelquefois la corolle est régulière, d'autres fois nulle; dix étamines, ordinairement diadelphes, rarement libres ou monadel-

phes. Le fruit est le plus souvent une gousse ou *légume* en général uniloculaire, bivalve et polysperme, quelquefois charnue et indéhiscente, d'autres fois divisée par des cloisons transversales et partagées en plusieurs loges monospermes; embryon à cotylédons très épais, à radicule droite ou recourbée sur les cotylédons et sans périsperme.

Us. Gomme adragante,	Astragalus verus.	(Méd. et arts, suc concret.)
Réglisse,	Glycyrrhyza glabra.	(Méd. rac.)
Copahu,	Copaifera officinalis.	(Méd. suc propre.)
Séné,	Cassia acutifolia, obovata, etc.	(Méd. feuilles et fruits.)
Tamarin,	Tamarindus indica.	(Méd. pulpe du fruit.)
Gomme arabique,	Acacia vera.	(Méd. suc épaissi.)

DICLINIE.

EUPHORBIACÉES. — Tige ligneuse, herbacée ou charnue, contenant souvent un suc blanc, âcre et laiteux; feuilles alternes, éparses ou opposées; fleurs unisexuées, monoïques ou dioïques, ordinairement disposées en grappes, ou réunies dans un involucre commun, rarement solitaire; calice souvent double, à cinq ou dix divisions, dont les intérieures sont pétaloïdes; *fleurs mâles:* étamines variables, réunies ou distinctes, insérées au réceptacle ou au centre du calice; *fleurs femelles:* ovaire globuleux, à trois côtes et à trois loges, rarement plus, renfermant chacune un ou deux ovules; trois styles bifurqués; fruit composé de trois coques bivalves, mono ou dispermes; graines recouvertes, à leur partie supérieure, par une crête ou caroncule de forme variable, renfermant un embryon mince et plane enveloppé d'un périsperme charnu.

Us. Ricin,	Ricinus communis.	(Méd. sem.)
Cascarille,	Croton cascarilla.	(Méd. écorce.)
Tilly,	— tiglium.	(Méd. sem.)
Tapioka,	Jatropha manhiot.	(Méd. et us., écon. fécule des racines.)
Buis,	Buxus sempervirens.	(Plante d'ornement.)

CUCURBITACÉES. — Plantes herbacées à tiges grimpantes

ou couchées, et garnies de vrilles axillaires; feuilles simples et alternes; fleurs dioïques ou monoïques, rarement hermaphrodites; calice adhérent, à cinq divisions; corolle en forme de cloche, divisée en cinq lobes; étamines au nombre de trois à cinq, insérées au fond de la fleur; ovaire infère, surmonté d'un style à trois stigmates ordinairement bilobés. Les fleurs femelles offrent assez souvent trois filaments stériles, provenant des étamines avortées. Le fruit est une péponide; graines nichées dans la pulpe, ou libres dans une vaste cavité accidentelle, creusée dans la pulpe, comprimées, revêtues d'un tégument crustacé; embryon sans périsperme.

Us. Coloquinthe, Cucumis colocinthis. (Méd. fruits.)
Melon, — melo. (Us. écon. fruits.)
Pépon à gros fruits, Pepo macrocarpus. (Us. écon. fruits, etc.)

URTICÉES. — Plantes herbacées ou ligneuses; feuilles alternes ou opposées; fleurs monoïques ou dioïques, rarement hermaphrodites; périgone simple et divisé; étamines en nombre déterminé, insérées à la base du périgone; ovaire supère, simple, supportant un style simple ou bifurqué qui manque quelquefois; stigmate presque toujours double. Fruit bacciforme et monosperme, dépourvu de périsperme.

Us. Figuier, Ficus carica. (Méd. et us. écon. fruits.)
Contrayerva, Dorstenia contrayerva. (Méd. rac.)
Houblon, Humulus lupulus. (Méd. et arts, fl. et rac.)

CONIFÈRES. — Arbres ou arbrisseaux résineux à feuilles presque toujours persistantes; fleurs monoïques ou dioïques; *fleurs mâles* ordinairement disposées en chatons; leurs étamines, en nombre tantôt défini et tantôt indéfini, sont sessiles ou portées sur des filets distincts ou soudés; anthères uniloculaires; fleurs femelles en chatons ovoïdes ou globuleux (cônes), à écailles grandes et imbriquées, à l'aisselle desquelles sont une ou deux fleurs; ovaire conique. Le fruit est composé de petits cariopses recouverts d'écailles, tantôt distinctes, tantôt réunies et soudées entre elles; l'embryon est placé au centre d'un périsperme charnu.

Us. Pin pignon, Pinus pinea. (Méd. semences.)
Térébenthine, — maritima, sylvestris, etc. (Méd. suc propre résineux.)
Sapin commun, Abies pectinata. (Méd. bourgeons, suc propre résineux. *Térébenthine.*) etc.

ONZIÈME PARTIE.

MINÉRALOGIE.

1° QUELLES SONT LES DIFFÉRENCES GÉNÉRALES QU'ON OBSERVE ENTRE LES CORPS BRUTS ET LES CORPS ORGANISÉS ?

On donne le nom de *minéralogie* à cette partie de l'histoire naturelle qui a pour objet l'étude et la connaissance des corps bruts ou inorganiques. Nous avons donné (page 507) les caractères généraux des corps bruts et des corps organisés ; nous n'y reviendrons pas.

L'étude de la minéralogie comprend non seulement les substances solides, telles que les pierres et les métaux, mais les corps liquides et gazeux qui se forment ou qui existent naturellement à la surface du globe.

On peut envisager les minéraux sous différents points de vue. Si on les étudie isolément pour en déterminer les espèces et les variétés, pour les distinguer et les classer, cette partie de la science retient le nom de *minéralogie* proprement dite ; si on les étudie d'une manière générale pour apprécier le rôle qu'ils jouent dans la composition des couches extérieures du globe, leur ordre constant de superposition, et enfin si on examine les faits et les théories qui expliquent les révolutions successives du globe, cette partie de la science prendra le nom de *géologie*.

La *minéralogie* proprement dite se compose elle-même de plusieurs parties. Ainsi on nomme *cristallographie* cette partie de la science qui s'occupe des formes variées et régulières sous lesquelles les minéraux se présentent à nous. On appelle *métallurgie* cette partie de la minéralogie qui s'occupe d'extraire et de purifier les métaux utiles à l'homme.

Propriétés et caractères physiques des minéraux.

Les caractères physiques des minéraux sont ceux dont on peut acquérir la connaissance, soit directement par les sens, soit en employant certains agents ou instruments qui n'altèrent en rien la nature intime de ce corps. Parmi les caractères physiques des minéraux, la plus importante est la forme; viennent ensuite la structure, la densité, les propriétés optiques, magnétiques, électriques; la dureté, la flexibilité, etc.

2° QUELLES SONT LES FORMES ESSENTIELLES DES CORPS BRUTS?

Les corps bruts ou minéraux n'ont pas en général de forme propre et constante comme les corps organiques, et par conséquent leur structure et leur configuration peuvent être influencées par beaucoup de circonstances étrangères. Mais quand aucune cause ne vient troubler l'attraction des molécules des minéraux, quand ils passent de l'état liquide à l'état solide, ils peuvent alors cristalliser, c'est-à-dire qu'ils prennent une structure et une forme régulières. On donne le nom de *formes cristallines* à ces formes polyédriques régulières que peuvent prendre les minéraux.

Dans toute espèce de cristal, on distingue : 1° les faces; 2° les arêtes, ou lignes saillantes qui résultent de l'intersection de deux faces; 3° et enfin les angles solides, point de jonction des arêtes.

Mesure des angles goniomètres.

Dans une même espèce minérale et dans celles de ses variétés qui offrent des formes particulières, les angles ont une mesure égale, et par conséquent les faces sont toujours inclinées de la même manière les unes sur les autres; ainsi le spath d'Islande rhomboédrique a toujours ses angles obtus de 105°, 5, et ses angles aigus de 74° 55. Cependant ces mesures peuvent être légèrement modifiées par un changement de température et par quelques légères différences de composition chimique.

On nomme *goniomètres* les instruments propres à mesurer les angles; le plus anciennement employé est celui de Garengeot,

L'instrument qui donne avec le plus de perfection la mesure des angles est le goniomètre de Wollaston ; les mesures y sont obtenues par la réflexion de la lumière.

Réduction de toutes les formes cristallines à six types.

Un fait extrêmement remarquable et qui distingue encore les minéraux des êtres inorganiques, c'est que la forme cristalline, qui, par sa régularité, semblerait être constante dans chaque espèce, peut cependant offrir de très nombreuses modifications. Ainsi, pour ne citer qu'un exemple, dans l'espèce chaux carbonatée, le nombre de formes cristallines observées dépasse 1400. Toutes ces formes, également régulières, diffèrent par le nombre et la figure de leurs faces ; mais elles ont toutes un caractère de symétrie d'après lequel on peut les rattacher les unes aux autres, ou les faire dériver toutes de l'une d'elles. On appelle système cristallin d'un minéral ce groupe de formes que peut prendre un minéral donné. Tous les cristaux connus peuvent être ramenés à six groupes principaux, six types ou six systèmes de formes cristallines, qui sont : 1° le cube ; 2° le rhomboèdre; 3° le prisme droit à base carrée ; 4° le prisme droit à base rectangle ; 5° le prisme oblique à base rectangle ; 6° le prisme oblique à base de parallélogramme obliquangle, ou le parallélipipède irrégulier.

3° QUELLES SONT LES DIFFÉRENCES PRINCIPALES DES SIX GROUPES AUXQUELS ON PEUT RAPPORTER TOUTES LES FORMES CRISTALLINES.

Avant de décrire les six types de formes cristallines, nous devons dire que l'une quelconque des formes d'un système cristallin peut être successivement transformée dans toutes les autres; on arrive à ces transformations par des troncatures que l'on opère symétriquement sur les arêtes et sur les angles solides de la forme type ; ces troncatures ont pour but de remplacer ces arêtes ou ces angles par de nouvelles facettes qu'on appelle modifications.

Premier type. — Système du cube.

Le cube est un solide terminé par six faces carrées et égales ; il présente huit angles solides, tous de même espèce, et douze

arêtes semblables. Si l'on remplace chacun des angles solides par autant de troncatures également inclinées sur chacune des faces, on aura d'abord un solide à quatorze faces dans lequel on reconnaîtra facilement le cube; si l'on prolonge davantage ces troncatures, on obtient un autre solide dans lequel les faces primitives du cube ont presque disparu; et de cette forme à l'octaèdre régulier, il n'y a qu'une nuance presque insensible : il suffit pour cela de prolonger les troncatures jusqu'à leur intersection. L'octaèdre régulier, c'est-à-dire le solide à huit faces triangulaires équilatérales, se trouve ici formé par les troncatures ou faces qui ont remplacé les huit angles solides du cube. Le tétraèdre régulier est un solide à quatre faces triangulaires égales entre elles. L'octaèdre peut être considéré comme formé par la réunion de deux tétraèdres opposés par la base.

En modifiant le cube ou ses dérivés sur leurs arêtes ou leurs angles solides, on arrive à plusieurs formes secondaires: le dodécaèdre à faces rhombes, trois solides différents à vingt-quatre faces, un solide à quarante-huit faces, etc. Beaucoup de minéraux appartiennent au système cristallin cubique. Nous citerons entre autres le sel marin, les sulfures de fer et de plomb, le fluorure de calcium, etc.

Deuxième type. — Système du rhomboèdre.

On appelle rhomboèdre un solide à six faces rhombes toutes égales entre elles, disposées symétriquement autour d'un axe, passant par deux angles solides opposés et égaux. Le système rhomboédrique comprend, outre le rhomboèdre, les dodécaèdres à triangles scalènes ou isoceles, le prisme hexaèdre régulier, etc. Parmi les nombreux minéraux que ce système contient, nous citerons les carbonates de chaux, de magnésie, de baryte, l'émeraude, le cristal de roche, etc.

Troisième type. — Système du prisme droit à base carrée.

Ce solide est un polyèdre terminé supérieurement et inférieurement par deux surfaces carrées égales et parallèles, et offrant latéralement quatre parallélogrammes variables pour leur longueur. Ce système renferme, comme formes secondaires, l'octaèdre à base carrée, un prisme à huit pans symétriques, mais non réguliers, et une double pyramide droite de même base

que ce prisme octogone, etc. Les minéraux qui appartiennent à ce type cristallin sont : l'oxide d'étain, le zircon.

Quatrième type. — Prisme droit à base rectangle.

Il diffère du prisme droit à base carrée, en ce que les angles de ses faces sont égaux entre eux, tandis que leurs côtés sont inégaux. Il renferme, comme formes secondaires, un prisme à huit pans symétriques, mais non régulier, une double pyramide droite, etc. Le soufre et la topaze font partie de ce système cristallin.

Cinquième type. — Prisme oblique à base rectangle.

C'est celui dont les arêtes ne sont pas perpendiculaires à la base des pans. Ce système se compose, comme le précédent, de prismes et d'octaèdres à base rectangle; cette base est constamment oblique au lieu d'être perpendiculaire aux arêtes des prismes, ou aux axes des octaèdres. Ce système cristallin comprend le feldspath, l'amphibole, etc.

Sixième type. — Prisme oblique à base de parallélogramme obliquangle.

Ce système se compose essentiellement de prismes et d'octaèdres obliques à base de parallélogramme. Le sulfate de cuivre, l'axinite, se rapportent à ce système.

Les substances minérales ne se présentent que fort rarement sous forme de cristaux isolés; le plus souvent ils sont groupés et réunis ensemble de telle sorte que, dans beaucoup de circonstances, il n'y a que quelques unes de leurs parties qui soient libres; mais, comme dans toutes les formes cristallines les faces et les angles, ont des inclinations déterminées. Cette soudure des cristaux se fait toujours d'une certaine manière en quelque sorte régulière.

4° QU'ENTEND-ON PAR CLIVAGE OU STRUCTURE RÉGULIÈRE?

On entend par structure régulière des corps cristallisés une disposition régulière des molécules qui permet de diviser les substances cristallines suivant des plans aussi brillants que les faces naturelles,

On donne le nom de clivage à l'opération par laquelle on arrive à cette division. Ainsi un morceau de galène ou de spath calcaire, frappé avec un marteau, se partage en un grand nombre de fragments, cubiques dans le premier, rhomboédriques dans le second ; de même, si l'on prend un morceau de gypse ou de mica, on le partagera avec la plus grande facilité en lames de plus en plus minces. Cette propriété de se cliver dépend de la structure régulière des cristaux qui sont composés de rangées de molécules formant des lamelles superposées les unes aux autres. Tous les cristaux ne se prêtent pas aussi facilement que ceux que nous venons de nommer à l'opération du clivage, il en est quelques uns dans lesquels elle est à peu près impossible; dans d'autres, la percussion produit simplement des fissures dans l'intérieur même du cristal; ces fissures correspondent toujours aux faces naturelles du cristal, et par la direction de leurs stries ou les résultats de lumière qu'elles déterminent, elles servent encore à faire reconnaître leur direction. Dans les substances très dures, on se sert d'un autre moyen pour rendre sensible la division des faces du clivage. On fait chauffer fortement le cristal, puis on le plonge immédiatement dans l'eau froide; le changement brusque de température donne lieu à des fissures qui correspondent aux faces du cristal. L'opération du clivage est très précieuse, parce qu'elle donne constamment la même forme, quelles que soient les variétés de formes secondaires sous lesquelles se présente une même espèce minérale. On nomme forme primitive le solide ordinairement simple que l'on peut extraire d'un cristal par le moyen du clivage.

Formes irrégulières des minéraux.

5° EN QUOI CONSISTENT LES STRUCTURES IRRÉGULIÈRES?

Toutes les substances minérales ne se présentent point avec des formes cristallines régulières; très souvent, au contraire, elles sont en masses amorphes. C'est ainsi que la craie et les différents calcaires ne ressemblent en rien extérieurement aux beaux cristaux de spath d'Islande; et cependant ces trois substances presque identiques pour la composition chimique, appartiennent à la même espèce. Nous allons faire connaître les formes irrégulières les plus constantes que présentent les minéraux.

On appelle *dendrite* ou arborisation, des réunions de petits

cristaux irréguliers disposés de manière à représenter en quelqu sorte un petit arbre ramifié, et cette disposition se rencontr dans les agates.

On nomme *stalactite* une des formes irrégulières que pré sentent les minéraux, et en particulier le carbonate de chaux ce sont des espèces d'aiguilles ou de cônes renversés.

Les grottes d'Antiparos dans le Levant, celles qui environnen la cascade de Terni dans les États romains, la grotte d'Arcy e France, offrent des exemples de stalactites de toutes les forme

Les *stalagmites* diffèrent des stalactites en ce qu'elles s développent sur la surface de la terre au lieu de se produir aux voûtes, et qu'elles prennent alors une apparence ma melonnée.

Les *oolithes* sont des pierres composées de couches con centriques superposées. On appelle *géodes* les substances cris tallines arrondies qui présentent une concavité interne. Le minéraux offrent souvent des formes qu'ils ont empruntées d'autres substances; ou les matières de ces liquides se sont in troduites dans un moule laissé vide par la destruction d'u corps organique, ou ces résultats se sont produits par pétri fication.

Structure irrégulière.

Quand la cristallisation est confuse, la structure devient irré gulière: on la désigne souvent alors sous le nom de texture; s on n'aperçoit plus aucun indice de cristallisation comme dan les masses terreuses, la structure e t dite *compacte;* si la substanc est brillante, translucide comme du verre, la structure est dit *vitreuse.* Si on rencontre encore quelque indice de cristallisation on l'indique par des épithètes variées, structure lamellaire, etc

6° QUELLES SONT LES AUTRES PROPRIÉTÉS DES MINÉRAUX?

Poids spécifique. — Le poids spécifique ou densité d'un corp est le rapport de son poids à son volume. On prend l'eau dis tillée à son maximum de densité, comme point de comparaison Ainsi un volume donné d'eau pesant 1, le même volume d plomb pèsera 11,352, le même volume d'or 19,257. Toutes le substances minérales ont une densité qui leur est propre elle est fixe dans chaque espèce et varie pour chacune d'elles On emploie pour prendre la densité des corps, un instrumen

nnu sous le nom de balance de Nicholson (voyez page 257). ais le procédé le plus simple et le plus exact est le suivant. n prend un flacon bien bouché à l'émeri et rempli d'eau stillée, on le place avec le corps dont on veut connaître le oids spécifique et qu'on a pesé préalablement dans le plateau une balance, et on pèse le tout. On met ensuite le corps dans flacon, il en fait sortir un volume d'eau exactement égal au en. Le flacon bien essuyé et contenant le corps est pesé de ouveau. La différence en moins de ce dernier poids au premier, xprime le poids de l'eau déplacée. Il devient alors très facile 'établir le rapport du poids de l'eau à celui du corps en xpérience.

Caractères optiques des minéraux.

Transparence. — On dit qu'un minéral est *transparent* lors-u'il se laisse assez facilement traverser par les rayons lumineux our permettre d'apercevoir un corps placé derrière lui; exem-le : le spath calcaire, le cristal de roche, etc. Lorsqu'on ne eut distinguer les objets que confusément en regardant à tra-ers un corps, on dit qu'il est *demi-transparent;* exemple : ertaines agates. Si le minéral laisse seulement traverser la umière sans permettre de distinguer les objets placés derrière ui, on dit qu'il est *translucide;* exemple : les cornalines. Enfin on d t qu'un corps est *opaque* lorsqu'il ne se laisse point traverser ar la lumière. Les métaux sont tous opaques.

Réfraction. — On donne le nom de réfraction à cette pro-riété dont jouissent seulement les corps transparents de dévier es rayons lumineux qui les traversent. Voici la loi de cette déviation. Lorsqu'un rayon lumineux passe obliquement d'un milieu dans un autre de densité différente, il éprouve, à partir de son point d'immersion, une déviation plus ou moins grande, qui varie suivant la nature du milieu. S'il passe de l'air dans un corps solide ou liquide, le rayon se rapproche de la perpendiculaire élevée au point d'immersion; si, au contraire, le milieu est moins dense, il s'en écarte.

Cette propriété de réfraction simple est propre à tous les mineraux appartenant au système cubique et se rencontre dans un grand nombre d'autres corps; mais plusieurs corps qui ap-partiennent aux autres systèmes cristallins, jouissent de la pro-priété remarquable de diviser en deux faisceaux le rayon lumineux. Un corps placé derrière une semblable substance se

voit double; on dit alors que cette substance jouit de la double réfraction. On peut observer cette belle propriété dans le spath d'Islande, dans le soufre, dans le cristal de roche, etc. Tantôt cette propriété se fait voir à travers deux faces parallèles d'un cristal, comme dans le spath calcaire; tantôt entre des faces non parallèles, comme dans le cristal de roche.

Couleurs. — Les substances minérales peuvent être incolores ou diversement colorées. La coloration peut être accidentelle, alors ce caractère est de peu de valeur; il en a une beaucoup plus grande quand elle est constante; ainsi le sulfure de mercure a toujours une nuance rouge, le molybdate de plomb une jaune.

Phosphorescence. — On donne ce nom à la propriété qu'ont certains minéraux de devenir lumineux dans l'obscurité dans des conditions données.

Le moyen le plus efficace pour rendre les minéraux phosphorescents, est de les chauffer assez fortement; cette propriété se remarque dans le spath calcaire, le phosphate de chaux, le chlorure d'argent, mais surtout dans une variété de fluorure de chaux connue sous le nom de chlorophane. Lorsqu'une substance phosphorescente a été chauffée à plusieurs reprises, elle perd cette propriété, mais on peut la lui rendre comme l'a montré Perseal en les soumettant à une décharge continue d'étincelles électriques; souvent la simple chaleur du soleil suffit pour rendre les corps phosphorescents; on observe cette propriété dans cette variété de sulfate de baryte connue sous le nom de phosphore de Bologne.

L'*éclat* est la manière dont un corps réfléchit la lumière. On emploie diverses expressions pour caractériser cette propriété dans les minéraux; ainsi on dit : éclat métallique, résineux, nacré, gras, etc.

Électricité et *magnétisme.* — Les substances minérales peuvent être classées par rapport à l'électricité en deux grands groupes : les corps conducteurs ou ceux qui conduisent facilement l'électricité, les métaux viennent au premier rang dans cette série; les corps isolants, ceux qui ne conduisent pas l'électricité, mais qui s'électrisent avec la plus grande facilité. Les moyens qu'on emploie pour développer l'électricité dans les minéraux sont le frottement et la chaleur; la topaze et le spath d'Islande s'électrisent par le seul frottement. Parmi les minéraux, il est qui, en s'électrisant, jouissent de la propriété de présenter les deux pôles. Le plus remarquable de tous c'est la

tourmaline; le développement de l'électricité dans ce minéral se fait selon les lois suivantes : la tension électrique va croissant comme la chaleur : dès que la température devient stationnaire, l'électricité disparaît complétement; dès que la température décroît, l'électricité reparaît; mais ce qui est fort singulier, les pôles ont changé; l'extrémité du cristal qui manifestait l'électricité positive offre l'électricité négative, *et vice versâ*. Le magnétisme est considéré aujourd'hui comme une modification de l'électricité. Il n'y a qu'un petit nombre de corps qui jouissent de la propriété d'agir sur l'aiguille aimantée; tels sont le fer, le nikel et le cobalt, mais seulement dans certains états déterminés.

Du degré de résistance aux actions mécaniques.

On donne le nom d'*élasticité* à la propriété qu'ont plusieurs substances minérales de céder à l'effort que l'on fait pour les courber et de revenir fortement à leur position primitive quand cet effort cesse. Le mica, qui ressemble tant au talc, en diffère par son élasticité dont l'autre manque.

La *dureté*, considérée sous le point de vue minéralogique, exprime la résistance à se laisser rayer ou entamer par un autre corps. Pour que la dureté pût devenir un caractère dans les minéraux on a en quelque sorte dressé une table qui sert de point de comparaison. Ainsi entre le talc qui est la substance la plus tendre, et le diamant qui est la plus dure, on a placé huit autres substances dont la dureté va en croissant. Voici ces substances : talc, gypse, calcaire, spath fluor, phosphate de chaux, feldspath, quartz, topaze, corindon, diamant. Si l'on veut exprimer le degré de dureté d'un corps qui ne soit pas compris dans la table précédente, on l'essaie par les corps qui forment cette table, et l'on arrive à un point où le corps qu'on essaie cesse d'être rayé. On dit alors que tel corps est rayé par tel des corps de la table et raie tel autre de la même table.

Ténacité. — On appelle ainsi la résistance que les corps opposent aux chocs. La ductilité, la malléabilité et la flexibilité, sont des propriétés qui appartiennent particulièrement aux métaux.

Tous les corps solubles sont sapides, un grand nombre d'entre eux peuvent se caractériser par leur saveur, exemple : le sel marin, l'alun, le sulfate de magnésie, etc. Les *odeurs* peuvent être distinguées en propres ou accidentelles; ainsi l'odeur suffo-

cante du chlore, de l'acide sulfureux, sont des odeurs propres; ainsi plusieurs bois bitumineux ont une très forte odeur bitumineuse qui est accidentelle.

Propriétés chimiques des minéraux.

Si les propriétés physiques que nous avons étudiées précédemment fournissent d'excellents caractères pour distinguer les minéraux, cependant elles peuvent rarement servir seules à bien caractériser les espèces : il faut avoir recours aux propriétés chimiques.

7° DE COMBIEN DE MANIÈRES LES CORPS BRUTS PEUVENT-ILS DIFFÉRER LES UNS DES AUTRES SOUS LE RAPPORT DE LA COMPOSITION?

Les différences que l'on observe dans les minéraux peuvent dépendre de la nature, du nombre et de l'arrangement des atomes simples dont se composent leurs molécules. Les corps bruts peuvent être 1° ou des corps simples, 2° ou des combinaisons définies, 3° ou des mélanges hétérogènes.

Voici la liste des substances qu'on rencontre à l'état de simplicité : le soufre, le carbone, le tellure, l'antimoine, l'arsenic, l'or, le platine, le palladium, l'argent, le mercure, le bismuth, le cuivre et le fer. Les combinaisons définies peuvent être ou des composés binaires, ou quaternaires, ou rarement d'un ordre plus élevé. Les composés binaires sont très nombreux dans la nature; les plus importants sont les oxides, les sulfures, les chlorures, etc. Les composés ternaires sont formés de deux composés binaires qui ont un élément commun : le soufre, l'oxigène, le chlore; ainsi le sulfate de baryte est un composé ternaire dans lequel entrent le soufre, l'oxigène et le barium. Les composés quaternaires ou ceux d'un ordre plus élevé sont moins fréquents dans la nature; ce sont tantôt trois composés binaires ayant un même élément minéralisateur, tantôt un composé binaire et un composé ternaire réunis. Nous avons exposé dans l'Introduction de la Chimie les lois d'après lesquelles les corps simples se combinent; nous n'y reviendrons pas ici. (Voyez page 349.)

Nous devons ajouter qu'il existe des masses minérales qui sont évidemment hétérogènes parce qu'elles résultent de l'agré-

gation de masses plus petites ou de particules d'espèces différentes. Toutes les roches composées, sont dans ce cas; les espèces homogènes, peuvent être partagées en deux séries; les unes ne sont homogènes qu'en apparence, elles résultent de l'agrégation de molécules de diverses natures; exemple : les argiles; les autres, qui sont les seules réellement homogènes, sont dans toutes leurs parties formées de molécules semblables : elles constituent les espèces minérales.

De l'analyse des minéraux.

Pour connaître les matières qui composent un minéral, on a recours à une opération chimique, connue sous le nom d'analyse. Deux moyens principaux sont employés pour arriver à ce but. Tantôt on emploie le feu pour le fondre, et cette méthode a reçu le nom d'*analyse par la voie sèche.* Tantôt on emploie les réactifs liquides, et ce mode a reçu le nom d'analyse par la voie humide.

Analyse par la voie sèche.

C'est au moyen du chalumeau qu'on pratique le plus ordinairement cette opération. Cet instrument est très précieux, en ce qu'il permet de faire des essais sur de très petits fragments de matière, qu'il donne des résultats très précis, et qu'il demande très peu de temps. Pour opérer, on place un fragment du corps que l'on veut essayer, tantôt à l'extrémité d'une pince dont les branches sont en *platine*, tantôt sur une feuille mince de métal. Saussure employait une petite lame d'un minéral connu sous le nom de disthène : mais le support le plus communément employé c'est un charbon convenablement creusé.

On peut se servir pour les chalumeaux d'une chandelle ou d'une bougie. Berzélius préfère une lampe, alimentée avec l'huile d'olive. Pour souffler au chalumeau, il faut inspirer l'air par le nez, pour que l'action soit continue. Dans le jet de flamme produit par le chalumeau, on observe le feu d'oxidation qui occupe l'extrémité du jet, et le feu de réduction qui occupe la partie centrale et bleue de la flamme. On emploie le chalumeau ou seul, ou avec des réactifs connus sous le nom de fondants. Dans le premier cas on reconnaît si la matière est infusible, ou si elle peut se fondre; on observe alors si elle donne un verre transparent et incolore, ou diversement colorié, ou une fritte et scorie, c'est-à-dire une matière poreuse ou boursouflée. On a expérimenté

avec soin sur la plupart des minéraux, au moyen du chalumeau, et on a étudié les caractères que présente cette opération, et les produits qui en résultent.

Les réactifs du chalumeau sont le borax, le carbonate de soude, le phosphate de soude et d'ammoniaque, et le nitrate de potasse. Le borax, qui est le plus employé, sert principalement de fondant; il forme un verre qui prend différentes nuances, suivant les oxides métalliques avec lesquels il est fondu.

Analyse par la voie humide.

On donne ce nom aux modes variés qui sont employés pour arriver à la connaissance des éléments qui entrent dans la composition du corps brut, lorsqu'on emploie pour arriver à ce but des réactifs liquides, et qu'on forme des dissolutions.

Pour pouvoir opérer par la voie humide, il faut commencer par mettre le corps en solution; à cet égard les substances minérales se partagent en trois classes : 1° substances solubles dans l'eau; 2° substances attaquables par les acides; 3° enfin les substances qui ne peuvent fournir de solution qu'après avoir été fondues avec la potasse ou la soude. Quand on a obtenu une solution, on a ordinairement deux problèmes à résoudre: 1° la recherche de l'acide, ou du principe électro-négatif de la combinaison; 2° la recherche de l'alcali, ou du principe électro-positif. Nous avons présenté dans la chimie les caractères à l'aide desquels on peut arriver à la solution de ces questions.

8° COMMENT S'ÉTABLISSENT LES DIFFÉRENCES ENTRE LES CORPS QUI SONT FORMÉS DES MÊMES ÉLÉMENTS.

Nous avons vu que lorsqu'on veut chercher quels sont les éléments qui entrent dans la composition d'une espèce minérale, on a recours à une opération connue sous le nom d'analyse; si on se borne à cette recherche, l'analyse prend le nom de *qualitative;* mais si on veut établir les différences entre des corps qui sont formés des mêmes éléments, il faudra alors en déterminer les proportions : l'analyse prend alors le nom de *quantitative.* C'est toujours par la voie humide qu'on procède, il faut être pourvu de balances sensibles à un milligramme. On n'arrive pas toujours à trouver par l'analyse la substance que l'on cherche, mais si on arrive à obtenir une substance de composition connue, en la pesant on obtient par un calcul facile la propor-

tion du corps que l'on cherche ; ainsi, dans l'analyse des minéraux d'argent, au lieu d'obtenir l'argent métallique, on obtient son chlorure, on le pèse, et comme sa composition est rigoureusement connue, on a immédiatement le poids de l'argent contenu dans le minéral analysé. Il faut en général chercher à obtenir des combinaisons dont les proportions soient établies sur des expériences précises, et qui soient complétement insolubles.

9° L'ANALYSE SUFFIT-ELLE TOUJOURS POUR ÉTABLIR CLAIREMENT LA DIFFÉRENCE QUE LES CORPS PRÉSENTENT.

L'analyse suffit dans le plus grand nombre des cas, pour établir nettement les différences que présentent les espèces minérales ; il est cependant des cas où ce moyen, qui au premier abord semble si facile, peut se trouver en défaut : en effet il ne nous fait connaître que la nature et les proportions relatives des corps simples qui entrent dans la composition des minéraux ; il arrive quelquefois que des substances minérales, formées des mêmes éléments, en mêmes proportions, diffèrent cependant assez entre elles, pour qu'il soit indispensable de les séparer. La théorie atomique explique très heureusement ces différences, en montrant qu'elles résultent de variations dans les groupes atomiques, qui constituent la forme de corps. Nous allons rendre ce fait plus clair par des exemples. Ainsi, il existe deux carbonates de chaux, qui donnent exactement les mêmes résultats à l'analyse, et qui cependant diffèrent notablement entre eux par l'ensemble de leurs caractères physiques. L'un (le calcaire commun) cristallise et se clive avec la plus grande facilité en rhomboèdres, ne possède, quand il est transparent, qu'un seul axe de réfraction double, est plus tendre, et spécifiquement plus léger, etc. L'autre (l'aragonite) cristallise en prismes très différents du rhomboèdre, est d'un clivage très difficile, a deux axes de double réfraction, etc. Il en est de même des deux espèces de sulfure de fer (la pyrite commune et la sperkise).

10° LORSQU'ELLE NE SUFFIT PAS, COMMENT Y SUPPLÉE-T-ON ?

Lorsque l'analyse ne montre point de différence entre des minéraux qui présentent cependant des caractères essentiels dissemblables, alors pour établir ces différences il faut avoir

recours aux propriétés physiques les plus importantes, et il n'en est aucune de préférable, après la nature et la proportion relative des atomes, que leur groupement. Ce caractère appartient à la nature intime du corps, il nous est révélé par l'examen des formes cristallines. Quand deux corps de même composition cristallisent dans deux systèmes, les différences qui en résultent tiennent à la manière dont sont groupés les atomes, et sont trop importantes pour ne pas être prises en considération ; il en résulte souvent des différences très notables dans toutes les autres propriétés physiques. Ainsi quand l'analyse ne suffit point pour établir des différences, il faut d'abord avoir recours à la forme cristalline, puis aux autres propriétés physiques secondaires.

Des classifications minéralogiques.

Il existe plusieurs classifications minéralogiques qui tour à tour ont joui d'une certaine célébrité. Nous allons montrer sur quelles bases reposent les principales; mais avant d'entrer dans ce détail, nous pensons qu'il est utile d'exposer, en suivant l'ordre du programme, les bases générales de ces classifications.

11° QUELS SONT LES DEGRÉS D'IMPORTANCE RELATIVE QU'ON PEUT ATTRIBUER AUX DIVERSES PROPRIÉTÉS DES MINÉRAUX ?

Les classifications minéralogiques reposent, comme les classifications zoologiques ou botaniques, sur la subordination des caractères ; il est donc essentiel d'établir nettement quels sont les degrés d'importance relative des diverses propriétés des minéraux. Dans la zoologie les propriétés dominantes sont tirées de la forme ; on ne peut plus les invoquer en premier ordre dans la minéralogie, car des espèces qui ont entre elles la plus grande affinité, peuvent différer entre elles par la forme ; ainsi rien ne se ressemble moins pour la forme que le cristal de roche, le carbonate de chaux et la craie, et cependant on ne peut les séparer. Les propriétés les plus importantes sont fournies par l'analyse chimique, qui nous indique quelles sont la nature et la proportion des éléments qui entrent dans un minéral. La forme cristalline est la propriété qui vient en second lieu, parce qu'elle est liée à la constitution intime des minéraux, et qu'elle montre comment les éléments sont groupés pour constituer un solide déterminé. Le caractère tiré de la réfraction est, comme nous l'avons vu, inti-

mement lié avec la forme cristalline; le caractère qu'il fournit a donc également une grande importance. Voilà les propriétés vraiment dominantes, et qui peuvent servir à déterminer les espèces. Les autres propriétés physiques viennent en deuxième ligne: parmi ces propriétés, il en est cependant qui sont remarquables par leur constance, et qui sont liées à la nature du minéral : parmi ces caractères, vient en première ligne la densité, dont les minéralogistes ne doivent jamais négliger l'appréciation. La dureté, la couleur propre, sont encore des propriétés essentielles qu'il ne faut jamais oublier.

12° QUELLES SONT CELLES DE CES PROPRIÉTÉS QU'ON PEUT PLUS PARTICULIÈREMENT EMPLOYER COMME CARACTÈRES?

Les caractères devant-être tirés des propriétés les plus importantes, il suit de ce qui précède, qu'on devra d'abord avoir recours à ceux que fournit l'analyse chimique, puis vient en deuxième ligne la forme cristalline et les autres propriétés physiques, d'après leur importance relative. Pour qu'une espèce minéralogique soit nettement connue, il faut qu'il ne reste plus aucune incertitude sur son analyse quantitative, et que l'on puisse la rapporter avec précision à l'un des types cristallins que nous avons fait connaître précédemment.

13° DÉFINITION DE L'ESPÈCE MINÉRALE.

La définition de l'individu ou de l'espèce diffère en minéralogie de la même définition en zoologie ou en botanique. Les substances minérales pourraient être divisées indéfiniment, sans être détruites. Pour arriver à définir l'individu, on doit arriver jusqu'à la molécule intégrante, qui ne peut être décomposée qu'en éléments hétérogènes. On appelle espèce, en minéralogie, une collection identique par la nature, les proportions et l'arrangement de leurs molécules, quelle que soit la forme sous laquelle ils se présentent. Cependant, on admet généralement que les minéraux de la même espèce doivent s'accorder par la composition chimique, et pour la forme cristalline. Toutes les autres propriétés ne sont plus regardées que comme secondaires, et ne doivent point faire établir une nouvelle espèce. Ainsi, par exemple, le sulfate de chaux, ou la combinaison de l'acide sulfurique avec la chaux et avec l'eau, constitue toujours une

espèce minérale, soit qu'il soit régulièrement cristallisé, et parfaitement transparent comme le verre; soit qu'il forme des masses informes, comme la pierre à plâtre. Ces variations de propriétés physiques constituent les variétés qu'on peut définir rigoureusement *des collections d'individus* identiques par la nature de leurs éléments et leur forme primitive, mais différant par leurs autres propriétés.

14° QUE DOIT-ON ENTENDRE PAR GENRE EN MINÉRALOGIE?

En minéralogie, de même que dans les autres branches de l'histoire naturelle, en groupant les espèces on a formé des genres. On peut, dans l'état actuel de la science minéralogique, définir ainsi le genre : *un groupe formé d'espèces qui ont entre elles une grande analogie dans la composition chimique et dans les caractères extérieurs.* Pour qu'il y ait analogie dans la composition et dans les caractères extérieurs, il faut que les espèces réunies aient au moins un principe commun, choisi parmi ceux que l'on appelle en chimie *bases* ou *acides*, ou plus généralement principes électro-positifs, et principes électro-négatifs.

Nous exposerons plus loin les principes des nomenclatures minéralogiques les plus importantes, ce que chaque classificateur comprend dans le groupe qu'il nomme genre.

15° PEUT-ON FORMER QUELQUES AUTRES GROUPES NATURELS DE MINÉRAUX?

Après avoir formé des genres, tous les auteurs de classifications minéralogiques ont cherché à établir des familles, puis ils ont enfin groupé les familles en un petit nombre de classes pour constituer une méthode minéralogique. Les classifications minéralogiques peuvent être rapportées à quatre ordres: 1° elles sont uniquement fondées sur les caractères extérieurs; 2° elles reposent à la fois sur les caractères extérieurs et sur la composition chimique; 3° cette dernière enfin leur sert uniquement de base; 4° ils n'empruntent leurs caractères principaux que de la forme cristalline.

Classifications fondées sur les caractères extérieurs. — Cronsted et Brunner ont fondé leurs systèmes uniquement sur les caractères extérieurs; ils sont complétement abandonnés

aujourd'hui. Le premier divisait les minéraux en terres, sels, bitumes et métaux; chacune de ces classes était ensuite partagée en ordres d'après les caractères de la texture.

Classifications fondées d'après les formes cristallines. — Si tous les minéraux connus étaient cristallisés régulièrement et qu'on voulût les diviser d'après leurs formes, il y aurait six grandes divisions à établir dans leur ensemble. On pourrait ensuite subdiviser chacune de ces classes en tenant compte des angles; ainsi, pour la classe du rhomboèdre, telle espèce aurait un rhomboïde fondamental de telle mesure, et telle autre d'une mesure différente; mais toutes les substances du système cubique échappent à ce moyen de spécification, car toutes les formes de ce système ne peuvent pas varier dans la mesure des angles, et il est aussi beaucoup d'espèces qui n'offrent aucun indice de cristallisation régulière et qu'on ne pourrait classer avec certitude.

Classification de mohs. — Cet auteur n'emploie, pour classer les minéraux, que des caractères tirés des propriétés actuelles des corps, de celles qu'ils manifestent dans leur état naturel, avant toute altération de leur véritable nature, c'est-à-dire uniquement des caractères de formes, de couleur, de tissu, etc.

Tous les minéraux dans ce système sont subdivisés en trois classes, celles-ci en ordres, les ordres en genres, espèces, etc. Première classe, pesanteur spécifique au-dessous de 3,8, point d'odeur bitumineuse, saveur quand ils sont solubles. Seconde classe, pesanteur spécifique au-dessus de 1,8 insipide. Troisième classe, pesanteur au-dessous de 1,8, odeur bitumineuse quand ils sont liquides.

Classifications fondées sur les caractères extérieurs et la composition chimique. — La plus répandue de ces méthodes est celle de l'illustre géologue Verner; il divise les fossiles en 4 classes : 1° terreux, 2° salins, 3° inflammables, 4° métalliques. Pour montrer combien cette classification était artificielle, il suffit de dire qu'il plaçait le diamant, qui n'est que du carbone, et qui devrait appartenir à la troisième classe, à côté de la zircone dans la première classe.

Classifications fondées uniquement sur la composition chimique. Les méthodes purement chimiques sont maintenant généralement adoptées; elles présentent la base la plus solide pour l'arrangement méthodique des minéraux. C'est Karsten qui éta-

blit la première classification de ce genre. Haüy, dans les deux éditions de son grand ouvrage, posa les bases d'une classification chimique. MM. Brongniart, Beudant et Berzélius établissent les divisions parmi les minéraux en partant du même principe.

On á pris deux points de départ opposés, pour classer chimiquement les minéraux. Les divisions peuvent être établies en prenant pour base l'élément électro-positif ou l'élément électro-négatif. Haüy a suivi le premier ordre. MM. Brongniart et Berzélius et tous les minéralogistes l'avaient imité; mais les belles découvertes de Mitscherlich sur l'isomorphisme ont rendu nécessaire un changement complet dans la classification, et maintenant tous les minéralogistes, à l'exemple de M. Beudant, prennent pour point de départ de leur classification le principe électro-négatif. Cependant on regrettera toujours dans les applications de la minéralogie la classification d'après l'élément électro-positif, chaque métal y formait une famille qui embrassait toutes ses combinaisons; il faut renoncer à cet avantage dans la classification d'après le principe électro négatif. Il répugne à plus d'un minéralogiste de chercher les composés de fer, de cuivre, d'argent, etc., dans plusieurs familles où ils se trouvent dispersés.

Classification de Haüy, 1822.—Il divise les substances minérales en quatre classes. Première classe, acides libres. 2° métaux hétéropsides; 3° métaux autopsides; 4° substances combustibles non métalliques; 5° substances phytogènes. Il comprenait sous le nom de métaux hétéropsides ceux qui ne se présentent jamais sous la forme commune et avec l'éclat particulier des métaux proprement dits auxquels il donnait le nom d'autopsides.

Classification de M. Beudant.— La méthode minéralogique de M. Beudant diffère complétement de celle de Haüy pour la réunion des espèces en genres. Au lieu de prendre les bases pour point de départ, il choisit les corps minéralisateurs. Cet exemple a été suivi par M. Berzélius dans la nouvelle classification minéralogique qu'il a publiée en 1825.

Dans les classifications par les bases, on est obligé de réunir en un même genre toutes les combinaisons possibles de cette base. Ainsi, dans le genre chaux se trouvent réunies les espèces: chaux carbonatée, chaux sulfatée, chaux nitratée, chaux fluatée, arseniatée, etc. Or, à l'exception de la base qui est commune, il n'y a quelquefois, il faut en convenir, que bien peu de rapports entre ces différentes espèces. Si, au contraire, les corps

minéralisateurs fournissent les caractères des genres, on aura des groupes dont les espèces auront beaucoup plus d'analogie entre elles. Ainsi dans le genre *carbonate*, par exemple, nous aurons non seulement un minéralisateur commun, l'acide carbonique, mais une analogie frappante dans la forme, la structure, la manière d'être générale. En effet, les carbonates de chaux, de zinc, de fer, de manganèse, etc., ont tous leurs formes cristallines appartenant au système rhomboédrique : par le clivage, ils donnent tous les rhomboèdres presque identiques ; leurs formes irrégulières se présentent sous les mêmes aspects; en un mot, il y a des rapports évidents qui les réunissent ensemble. Nous pourrions en dire autant des autres genres, tels que les nitrates, les sulfates, etc.

Cette méthode d'établir les genres est certainement la plus heureuse qu'on pourrait choisir, mais il n'est pas aussi facile de les grouper ensemble pour en composer des familles naturelles. Pour arriver à ce but, M. Beudant prend pour base de chaque famille un élément chimique qui doit être tel qu'il présente la plus grande analogie entre les genres qu'il réunit; ainsi le soufre forme le type de plusieurs genres distincts ; combiné avec les métaux ; il constitue le genre sulfures, avec l'oxigène, les acides sulfureux et sulfurique, puis le genre sulfates; tous ces genres qui ont un principe commun forment une famille à laquelle il donne le nom de *sulfides*. On est forcé de convenir que si les corps ainsi groupés présentent l'analogie d'un même principe important, ils diffèrent cependant par des propriétés essentielles ; ainsi les séléniures ressemblent plus aux sulfures que les sulfures ne ressemblent à l'acide sulfurique, et les sulfates devraient plutôt être rapprochés des séléniates et des autres sels que des sulfures, etc. Pour grouper les familles ensemble, les difficultés s'accroissent encore, et on doit dire qu'en minéralogie, pas plus que dans les autres branches de l'histoire naturelle, la série linéaire qu'on est obligé de suivre dans un ouvrage didactique ne donne des résultats satisfaisants. M. Beudant a suivi, pour grouper les familles, la classification de M. Ampère ; il divise les corps en trois groupes : les gazolites ; les leucolites et les chroïcolites ; nous verrons plus tard comment sont rangées les familles, en donnant la liste des minéraux d'après la méthode de M. Beudant. (Voyez page 699.)

16° QUELS SONT LES PRINCIPAUX MINÉRAUX QUI COMPOSENT LES FORMATIONS CRISTALLINES DU GLOBE ET CEUX QUI SE TROUVENT DANS LES FORMATIONS SÉDIMENTAIRES.

Nous verrons bientôt dans le précis de géologie ce qu'on doit entendre par formations cristallines et formations secondaires. Nous allons étudier maintenant les principaux minéraux qui les composent.

Le quartz, le feldspath, le mica, le talc, l'amphibole et le pyroxène, voilà les principaux minéraux des formations cristallines.

Les calcaires, le gypse, composent les plus grandes masses parmi les formations sédimentaires. On rencontre encore dans ces formations le diamant, les divers combustibles charbonneux, le sel gemme, etc.

Le *quartz* est un minéral lorsqu'il est pur; composé uniquement de silice, il est assez dur pour rayer le verre et donner des étincelles avec le briquet, chauffé seul au chalumeau, il est infusible. On en distingue plusieurs variétés : 1° le *quartz hyalin* ou le cristal de roche qui est souvent parfaitement transparent et incolore, et cristallisé en prismes, à six pans terminés par des pyramides à six faces; 2° l'*agate* est compacte, demi-transparente, à cassure écailleuse ou conchoïdale: elle se présente sous forme de rognons. 3° Le *jaspe* est tout-à-fait opaque, a une cassure terne et des couleurs foncées. 4° L'*opale* renferme toujours une certaine quantité d'eau, elle est résineuse et ressemble à un mortier gélatineux qui se serait consolidé en se desséchant.

Le *feldspath* est un silicate d'alumine et d'une base alcaline, variable; soude, potasse, quelquefois chaux, ou de petites proportions d'autres bases isomorphes. On a donné au feldspath différents noms suivant la nature de ses bases; ainsi on nomme *albite* celui qui est à base de soude, *orthose*, celui qui est à base de potasse ; c'est lui qu'on rencontre dans les granites; *labrador*, celui qui est à base de soude et de chaux : toutes ces espèces sont presque aussi dures que le quartz, elles fondent au chalumeau en un émail blanc. On nomme *pétrosilex* le feldspath compacte; quand il est en partie décomposé et qu'il a perdu une portion de sa base alcaline et de silice, on lui donne le nom de kaolin ou terre à porcelaine.

Les *micas* sont des silicates d'alumine et de potasse, dans lesquels cette base alcaline peut être remplacée par ses isomorphes

et particulièrement par l'oxide de fer, l'oxide de manganèse. Les micas se présentent sous forme de petites masses lamellaires en feuillets minces ou en paillettes divisibles, en lamelles d'une grande ténuité, brillantes, flexibles et élastiques. Leur couleur est très variable; les teintes varient du brun au vert, au noirâtre, au jaune, au blanc; ils ont souvent un éclat métallique; les belles variétés jaunes sont vendues sous le nom de *poudre d'or*. Le talc diffère peu des micas, la base alcaline est de la magnésie; comme le mica, il se présente sous la forme de feuillets minces et flexibles, mais ces feuillets sont mous et élastiques; il est d'ailleurs beaucoup plus tendre et sa poussière est onctueuse.

L'amphibole est un genre qui comprend trois espèces principales de minéraux : ce sont des silicates de chaux, de fer, de manganèse, ou de bases isomorphes qui ont pour caractère commun d'avoir des formes cristallines qui dérivent d'un prisme oblique, à base rhombe, et de présenter deux clivages très éclatants et d'une grande netteté; ils fondent facilement au chalumeau et offrent des verres diversement colorés. Les espèces d'amphiboles sont 1° la *trémolite* ou *gramatite*; elle est blanche ou légèrement verdâtre; on la trouve en cristaux prismatiques ou en masses composées de fibres soyeuses; c'est à cette espèce qu'on rapporte les espèces filamenteuses connues sous le nom d'asbeste ou d'amiante. 2° L'*actinote* est d'un vert plus ou moins foncé, en baguettes ou en aiguilles allongées qui vont en rayonnant autour d'un centre. 3° La *hornblende* est d'un vert presque noirâtre et s'offre souvent en masses lamellaires.

Le genre *pyroxène* comprend encore plusieurs espèces de silicates qui ressemblent beaucoup par leur composition à ceux du genre amphibole; on distingue les pyroxènes des amphiboles par leur éclat moins vif, leur aspect vitreux et surtout par leur clivage qui a lieu parallèlement aux faces d'un prisme oblique à base rhombe dont les pans font entre eux un angle aigu au lieu de l'angle ouvert des amphiboles. Voici les espèces principales du genre amphibole : *diopside*, qui est blanc ou grisâtre; la *satilite* qui est verte; l'*augite*, qui est en cristaux presque noirs qui se trouve surtout dans les rochers volcaniques. Les *diallages* peuvent encore être rapportés au genre pyroxène, ce sont des minéraux tendres en masses lamellaires et brillantes.

Voilà les minerais qui, par leur réunion, forment la partie essentielle des masses cristallines du globe; on y rencontre en outre, disseminés dans les filons ou dans les veines, une foule

d'autres substances minérales parmi lesquelles nous citerons : le corindon, l'émeri, le spinelle, les rubis, la topaze, les émeraudes, la tourmaline, les grenats, le spath fluor, plusieurs minerais de fer, de plomb, de cuivre, d'étain, de zinc, d'argent, d'or, etc.

Nous allons maintenant étudier le calcaire et le gypse qui forment les masses principales des formations sédimentaires.

Le *calcaire*, ou carbonate de chaux rhomboédrique, ordinairement désigné sous le nom de pierre à chaux, est très facile à distinguer par ses propriétés chimiques; il jouit de la propriété de se dissoudre avec effervescence dans les acides, et de se réduire en chaux anhydre par le feu. On peut ajouter encore comme caractère physique qu'il se laissera rayer par une pointe d'acier. Il se présente dans la nature sous une foule de variétés cristallisées. Il est facilement clivable en rhomboèdre, qui est sa forme primitive, et dont le grand angle est de 105°,5; il porte sous cette forme le nom de *spath d'Islande*, et jouit entre autres propriétés d'une double réfraction très prononcée. Cette espèce est, sans contredit, celle dont les variétés de formes cristallines sont les plus nombreuses. Voici les variétés non cristallisées qui existent assez abondamment dans la nature pour former les roches : 1° *calcaire saccharoïde*; c'est le marbre blanc statuaire de Carare et des Pyrénées; il est en masses grenues et brillantes, et d'un beau blanc; 2° le *calcaire compacte fin;* il est diversement coloré, et constitue tous nos marbres calcaires; 3° le *calcaire oolithique*, formant des masses composées de globules compactes, et à couches concentriques; 4° la *craie*, matière terreuse, compacte, friable, tachant en blanc; 5° le *calcaire grossier*, pierre à chaux, ou pierre à bâtir, jaunâtre, assez tendre, à grain grossier, non susceptible d'être poli, contenant souvent un très grand nombre de coquilles fossiles; 6° le *calcaire siliceux*, plus dur que le calcaire commun, et laissant un résidu de silice quand on le traite par l'acide nitrique; 7° le *calcaire argileux* ou la *marne calcaire*, mélange terreux, c'est-à-dire de silice, d'alumine et de calcaire.

Le *gypse*, *pierre à plâtre*, *sulfate de chaux hydraté*, est une substance très tendre qui se laisse facilement rayer par l'ongle, et qui se divise en lames minces dans un seul sens quand elle est cristallisée. Sa cristallisation se rapporte au système du prisme oblique à base rectangle. Si l'on chauffe ces lames, elles se divisent d'elles-mêmes en une multitude de feuillets qui décrépitent

et blanchissent, ce qui tient à ce que la pierre abandonne alors l'eau qui fait partie de ses éléments, et se convertit en plâtre qui est employé en architecture et pour amender les prairies. C'est à cette substance qu'appartient l'albâtre employé pour faire des ornements Le gypse est quelquefois en cristaux incolores ou jaunâtres; le plus souvent il est en masses amorphes, c'est sous cet état qu'on le rencontre le plus souvent. La montagne de Montmartre, près Paris, en est presque entièrement formée.

Voilà les minerais qui composent en grande partie les différentes couches du globe ; nous verrons, plus loin dans la géologie, comment elles sont associées pour former les roches, et comment ces roches sont superposées; il nous reste, pour compléter cette esquisse de minéralogie, à présenter le tableau des espèces minérales qui sont le plus utiles à l'homme; nous allons le faire en donnant le tableau complet des espèces minérales, d'après M. Beudant, en nous arrêtant aux espèces les plus importantes par leur utilité.

TABLEAU MÉTHODIQUE *des espèces minérales, disposées suivant la méthode de M. Beudant.*

PREMIÈRE CLASSE. — GAZOLITES.

Substances renfermant comme principe électro-négatif, des corps gazeux, liquides ou solides, susceptibles de former des combinaisons gazeuses permanentes avec l'oxigène, avec l'hydrogène ou avec le phtore.

Première famille : SILICIDES. — Corps composés de silice seule ou combinée avec divers oxides.

Premier genre : *Silice.* — Quartz anhydre. — Opale ou *quartz hydraté.*

Deuxième genre : *Silicates.*

§ I. Silicates d'alumine ou de ses isomorphes. — Staurotide ou *croisette.* — Disthène. — Sillimanite. — Euclase. — Collyrite (*alumine hydratée, aluminite*). — Pholérite.—Triklasite.— Allophane. — Halloysite. — Emeraude (*béril, aigue-marine*). — Gehlenite. — Andalousite (*macle*).

Sous-genre : *Grenats.* — Grossulaire. — Almandine (*escarboucle, grenat syrien*). — Mélate. — Spessartine. — Scolexerose (*scolexite anhydre*). — Scolezite (*zéolithe en aiguilles, radiée*). — Mésotype.

— Prehnite. — Cérine (*cérium oxidé siliceux noir*). — Idocrase (*Vésuvienne*).

Sous-genre : *Épidote*. — Zoïzite (*épidote blanc*). — Thallite (*épidote ou schorl vert*). — Melonite (*hyacinthe blanche de la Somma*). — Wernerite. — Néphéline (*sommite, schorl blanc*). — Cordiérite (*dichroïte, saphir d'eau*). — Thompsonite (*mésotype*). — Carpholite (*pierre de paille*). — Anorthite. — Pinite (*pinite d'Auvergne*). — Triphane (*scolite de Suède*). — Chabasie (*cuboïte, zéolite cubique*). — Amphigène (*leucolite, grenat blanc du Vésuve*). — Analcime (*zéolite dure, cubicite*). — Laumonite (*zéolite de Bretagne*). — Hydrolite (*gmélinite, sarcolite*). — Harmotome (*pierre de croix*).

Sous-genre : *Feldspath*. — Orthose (*feldspath adulaire*). — Albite (*feldspath blanc*). — Pétalite (*berzelite*). — Stilbite (*zéolite nacrée et feuilletée*). — Épistilbite. — Hypostilbite. — Sphérostilbite. — Heulandite (*stilbite accélerée*). — Brewstérite. — Adinole (*pétrosilex agatoïde, feldspath compacte*).

§ II. Silicio-Aluminates. — Saphyrine. — Chamoisite. — Berthierine.

§ III. Silicates non alumineux. — Zircon (*hyacinthe, jargon*). — Eudialite. — Thorite. — Gadolinite. — Cérerite (*cérium oxidé silicifère rouge*). — Ilvaïte (*yénite, liévrite, fer calcaréo-siliceux*). — Montronite. — Achmite. — Rhodonite (*manganèse oxidé silicifère rose*). — Opsimose (*hydrosilicate de manganèse*). — Marceline (*manganèse du Piémont, silicate trimanganésien*). — Calamine (*zinc oxidé hydraté siliceux, pierre calaminaire*). — Chrysocole (*cuivre hydro-siliceux*).

§ IV. Silicates magnésiens. — Péridot (*chrysolite des volcans, olivine*). — Marmolite (*serpentine, talc*). — Serpentine (*ophite, néphrite*). — Diallage. — Talc. — Stéatite (*craie de Briançon*). — Magnésite (*écume de mer, magnésie carbonatée silicifère*).

§ V. Silicates calcaires. — Edelforse (*trémolite*). — Wollastonite (*spath en table, grammite*).

§ VI. Silicates doubles.

Sous-genre : *Pyroxène*. — Diopside (*pyroxène blanc*). — Hedenbergite (*pyroxène noir*). — Pyrodmalite (*fer muriaté*). — Hyperstène (*paulite*).

Sous-genre : *Amphibole*. — Trémolite (*grammatite, asbeste et amiante*). — Actinote (*hornblende*). — Apophyllite.

Deuxième famille : Borides. — Corps composés d'acide borique seul ou combiné.

Premier genre : *Boroxyde*. — Sassoline (*acide borique hydraté*).

L'acide borique existe en dissolution dans les eaux de certains lacs de Toscane, il fait aussi partie de certains produits volcaniques; il est employé pour préparer le borax.

Second genre : *Borates.* — Borax (*tinkal*, *soude boratée*).

Le borax existe en abondance dissous dans les eaux de plusieurs lacs de l'Inde et de la Perse; il cristallise dans le système prismatique, oblique à base rectangulaire; il est employé par les orfèvres et les bijoutiers pour leurs soudures.

Boracite (*borate de magnésie*).

Troisième genre : *Boro-Silicates.* — Datholithe (*chaux boratée siliceuse*). — Botriolithe (*chaux boratée siliceuse concrétionnée*).

Troisième famille : CARBONIDES. — Corps composés de carbone pur ou combiné avec d'autres corps.

Premier genre : *Carbone.* — Diamant.

Le diamant est employé dans les arts, soit pour percer et polir les pierres fines, soit pour couper le verre, soit pour servir de pivot dans les montres; c'est l'article le plus recherché de la joaillerie; il cristallise ordinairement en octaèdres allongés; il raie tous les corps, n'est rayé par aucun; sa densité est de 3,52, c'est du carbone chimiquement pur, il est ordinairement incolore, mais il peut être coloré en jaune, en rouge, en hyacinthe, en noir, etc.

Le diamant se trouve dans les terrains de transport, disséminé, au milieu de cailloux roulés, d'oxide de fer en grains, liés ensemble par une argile rougeâtre et ferrugineuse. Nous donnerons à l'article Géologie le gisement des divers combustibles suivants que nous citons.

Appendice. — *Graphite* (*plombagine*). — *Anthracite.* — *Houille* (*charbon de terre*). — *Stipite* (*houille sèche ou limoneuse*). — Lignite (*bois bitumineux*). — *Bois altérés.* — *Terre de Cologne* (*terre d'ombre*). — *Tourbe.* — *Terreau.*

Deuxième genre : *Carbures.* — Grizou (*proto-carbure d'hydrogène*). — Naphthe.

Appendice. — *Hatchetine* (*adypocire minéral*). — *Elaterite* (*bitume élastique*). — *Dusodyle* (*houille papyracée*). — *Malte* (*bitume glutineux, poix minérale*). — *Asphalte* (*bitume de Judée*). — *Retinasphalte.* — *Résine de Highgate* (*copal fossile*). — *Succin* (*karabé, ambre jaune*).

Troisième genre : *Mellate.* — Mellite (*mellate d'alumine, succin cristallisé*).

Quatrième genre : *Urate.* — Guano.

Cinquième genre : *Carbonite* ou *Oxalate.* — Humboltite (*mellate de fer*).

Sixième genre : *Carbonoxide.* — Acide carbonique.

Septième genre : *Carbonates.* — Natron (*sous-carbonate de soude*).

Le natron est assez répandu, il forme des efflorescences blanches dans plusieurs plaines basses et humides au bord de la mer; il cris-

tallise en octaèdres, à base rhombe; il est très employé pour la fabrication du savon et du verre.

Urao (*sesqui-carbonate de soude*). — Gay-Lussite.
Carbonate de chaux. — Calcaire.

Cristaux variés donnant par le clivage des rhomboèdres de 105° 5′ et 74° 55′ dans les variétés les plus pures, densité 2,7. Cette espèce fourni les marbres, les pierres à chaux, les pierres à bâtir, etc.

Aragonite

Cristaux en prismes rhomboïdaux de 116°,5, et 63°,55, plus dur que le calcaire à cassure vitreuse, densité 2,9.

Dolomie (*chaux carbonatée magnésifère*). — Gioberite (*magnésie carbonatée*). — Siderose (*fer carbonaté*).

Cristaux donnant par le clivage un rhomboèdre de 107°, densité 3,6; employé comme minerai de fer.

Diallogite (*carbonate de manganèse*). — Carbocérine (*carbonate de cérium*). — Smithsonite (*zinc carbonaté*). — Zinconise (*calamine terreuse, fleurs de zinc.*) —Witherite (*baryte carbonatée*). — Barytocalcite. — Strontianite (*carbonate de strontiane*). — Céruse (*plomb carbonaté*). — Leadhilite (*plomb carbonatée rhomboédrique*). — Lanarkite (*sulfo-carbonate de plomb*). — Calédonite. — Mysorine (*carbonate de cuivre anhydre*). — Malachite (*carbonate de cuivre vert*). — Azurite (*carbonate de cuivre bleu*).

Ces deux dernières espèces sont remarquables par la beauté de leurs couleurs, la malachite concrétionnée est employée comme pierre d'ornement.

Troisième famille : HYDROGÉNIDES. — Corps gazeux, liquides ou solides dont l'hydrogène est un des éléments constituants.
Premier genre : *Hydrogène.*
Deuxième genre : *Eau.*
Troisième genre : *Hydrates.*

Quatrième famille : NITRIDES. — Corps gazeux, liquides ou solides, dont l'azote est un des éléments constituants.

Corps gazeux ou solide dégageant alors du gaz nitreux par l'action de l'acide sulfurique, sur leur mélange avec la limaille de cuivre.

Premier genre : *Azote.*
Appendice : *Air atmosphérique.*
Deuxième genre : *Nitrates.* — Salpêtre (*nitre, nitrate de potasse*).
Cristaux dérivant d'un prisme droit rhomboïdal d'environ 60° et

120°; à la surface des murailles, dans les lieux habités; employé pour faire la poudre et l'acide nitrique.

Nitrate de soude.

Cristaux dérivant d'un rhomboèdre obtus d'environ 106° et 74°, se trouve en Amérique, en petites couches; employé pour préparer l'acide nitrique.

Nitrate de chaux. — Nitrate de magnésie.

Cinquième famille : Sulfurides. — Corps solides, liquides ou gazeux dont le soufre est une des parties constituantes.

Premier genre : *Soufre*.

Deuxième genre : *Sulfures*, — Hydrogène sulfuré (*acide hydrosulfurique*).

Existe dans plusieurs sources d'eaux minérales qui jouissent de propriétés médicales très énergiques, telles que les eaux de Barèges, d'Enghien.

Argyrose (*argent sulfuré*).

Cristallisé dans le système cubique, densité (7), composé de 13 soufre et 87 d'argent. C'est une mine d'argent très riche, qui, de même que tous les autres sulfures d'or et d'argent, est exploitée pour obtenir ce métal.

Galène (*plomb sulfuré*).

C'est le minerai de plomb le plus répandu. La galène a un aspect métallique, une couleur gris de plomb; elle cristallise dans le système cubique; elle est quelquefois mélangée de sulfure d'antimoine et de sulfure d'argent, dans ce dernier cas elle est exploitée comme mine d'argent.

Blende (*zinc sulfuré*).

Matière ne conservant guère l'aspect métallique, d'une densité de 4,16; elle est exploitée comme mine de zinc.

Cinabre (*mercure sulfuré*).

Cristaux dérivant de prismes hexaèdres, densité 7,2. C'est le minerai de mercure le plus répandu, et celui qui est exploré pour obtenir ce métal.

Alabandine (*manganèse sulfuré*). — Harkise (*nikel sulfuré*). — Sulfure de fer. — Pyrite (*fer sulfuré*). — Sperkise (*fer sulfuré blanc*). — Leberkise (*pyrite magnétique*). — Molybdénite (*molybdène sulfuré*). — Chalkosine (*cuivre sulfuré*). — Stromeyerine (*sulfure d'argent et cuivre*). — Phillipsite (*cuivre pyriteux panaché*). — Chalkopyrite (*cuivre pyriteux*). — Stannine (*étain pyriteux*). — Koboldine (*cobalt pyriteux*). — Bismuthine (*bismuth sulfuré*). — Stibine (*antimoine sulfuré*).

Substance métalloïde, gris de plomb, dérivant d'un prisme rhomboïdal, densité 4,3. C'est la mine d'antimoine qui fournit ce métal pour les usages de la médecine et des arts.

Zinkenite. — Jamesonite (*antimoine sulfuré plumbifère*). — Haidingerite. — Miargyrite (*argent rouge, argent sulfuré noir*). — Argyrothrose (*argent rouge, argent antimonié sulfuré*). — Psaturose (*argent antimonié sulfuré noir*). — Bournonite (*plomb antimonié sulfuré*). — Polybasite. — Panabase (*cuivre gris*). — Réalgar (*arsenic sulfuré rouge*). — Orpiment (*arsenic sulfuré jaune*). — Proustite (*argent antimonié sulfuré en partie*). — Antimonickel (*nickel arsenical antimonifère*). — Disomose (*nickel gris*). — Cobaltine (*cobalt gris*). — Mispickel (*fer arsenical*). — Tennantite (*cuivre gris*). — Sulfure de sélénium.

Troisième genre : *Sulfoxides*. — Acide sulfureux. — Acide sulfurique hydraté.

Quatrième genre : *Sulfates*.

La plus grande partie des espèces comprises dans le genre sulfates sont employés dans la médecine ou dans les arts ; la barytine et la célestine sont les mines de baryte et de strontiane les plus abondantes, et qui sont exploitées pour obtenir ces oxides ou leurs sels ; le gypse est usité pour bâtir et pour l'agriculture, l'alunite pour préparer de l'alun, le sulfate de magnésie existe dans les eaux de plusieurs fontaines, et est employé, ainsi que le sulfate de soude, comme purgatif.

Anglesite (*plomb sulfaté*). — Barytine (*baryte sulfatée*). — Célestine (*strontiane sulfatée*). — Karstenite (*chaux sulfatée anhydre*). — Gypse (*chaux sulfatée hydratée, plâtre*). — Glauberite. — Thénardite. — Exanthalose (*sel de Glauber*). — Aphthalose (*potasse sulfatée*). — Mascagnine (*ammoniaque sulfatée*). — Epsomite (*sulfate de magnésie*). — Gallizinite (*zinc sulfatée*). — Rhodalose (*cobalt sulfaté*). — Mélanthérie (*fer sulfaté*). — Néoplase (*fer sulfaté rouge*). — Pittizite (*fer sulfaté ocreux*). — Cyanose (*cuivre sulfaté*). — Brochantite (*sous-sulfate de cuivre*). — Sous-sulfate d'urane. — Sulfate vert d'urane. — Alugonère (*sulfate d'alumine*). — Webste-rite (*alumine sous-sulfatée*). — Alunite (*alumine sous-sulfatée alcaline*). — Alun (*alumine sulfatée alcaline*). — Ammonalum (*alun ammoniacal*).

Sixième famille : Chlorides. — Corps gazeux et solides, ayant le chlore pour principe électro-négatif.

Genre unique : *Chlorures*. — Acide hydrochlorique. — Calomel (*mercure doux ou corné*). — Kerargyrire (*argent corné*). — Kerasine (*plomb muriaté*). — Atakamite (*cuivre muriaté*). — Salmare (*sel marin*). — Sylvine (*muriate de potasse*). — Chlorure de calcium

(*muriate de chaux*).—Chlorure de magnésium (*muriate de magnésie*). — Salmiac (*muriate d'ammoniaque*).

Septième famille : Iodides. — Corps solides dont l'iode est un des éléments constituants.

Genre unique : *Iodures*. — Iodure de sodium. — De magnésium. — De zinc. — De mercure. — D'argent.

Huitième famille : Bromides. — Substances dont le brome est un des éléments.

Cette famille ne renferme pas d'espèces qui soient encore bien rigoureusement déterminées.

Neuvième famille : Phtorides. — Corps dans lesquels le phtore ou fluor est l'élément électro-négatif.

Premier genre : *Pthorures*. — Fluorine (*spath fluor ou chaux fluatée*). — Flucerine (*cérium fluaté neutre*). — Basicerine (*fluate de cérium basique*). — Cryolite (*alumine fluaté alcaline*).

Deuxième genre : *Phtoro-silicates*. — Topaze. — Préhnite (*topaze bacillaire*). — Condrodite (*brucite*).

Dixième famille : Sélénides.

Genre unique : *Séléniures*. — Claustalie (*plomb sélénié*). — Berzeline (*cuivre sélénié*). — Euchairite (*cuivre sélénié argental*).

Onzième famille : Tellurides.

Premier genre : *Tellure*.

Deuxième genre : *Tellurures*. —Bornine (*bismuth telluré*). — Élasmose (*tellure natif, auro-plumbifère*). — Mullerine (*tellure auro-plombifère*). — Sylvane (*tellure auro-argentifère*).

Douzième famille : Phosphorides.

Genre unique : *Phosphates*. — Apatite (*chaux phosphatée*). — Pyromorphite (*plomb vert, plomb phosphaté*). — Wagnerite (*magnésie phosphatée*). — Xenotime (*yttria phosphatée*). — Triplite (*manganèse phosphaté ferrifère*). — Hureaulite. — Hétérosite. — Aphérèse (*cuivre phosphaté de Libethen*). — Ypoleine (*cuivre phosphaté de Rheinbreitbach*).— Uranite (*urane oxidé*). — Chalkolyte (*urane oxidé*).— Wawellite (*alumine phosphatée*). — Klaprothine (*feldspath bleu*). — Amblygonite.

Treizième famille : Arsénides.

Premier genre : *Arsenic*.

Deuxième genre : *Arséniures*. — Arséniure d'argent. — Arséniure d'antimoine. — Arséniure de bismuth. — Smaltine (*cobalt arsenical*). —Nickeline (*nickel arsenical*). — Arséniure de cuivre.

Troisième genre : *Arsénoxide*. — Acide arsénieux.

Quatrième genre : *Arséniates*.—Pharmacolite (*chaux arséniatée*). — Arsenicite (*chaux arséniatée*). — Mimetèse (*plomb arséniaté*).

— Erythrine (*cobalt arséniaté*). — Nickelocre (*nickel arséniaté*). — Erinite (*cuivre arséniaté rhomboédrique*). — Liroconite (*cuivre arséniaté octaédrique*). — Olivenite (*cuivre arséniaté prismatique droit*). — Aphanèse (*cuivre arséniaté prismatique triangulaire*). — Scorodite (*cuivre arséniaté ferrifère*). — Pharmacosiderite (*fer arséniaté de Cornwal*). — Néoctèse (*fer arséniaté du Brésil*). — Sideretine (*fer oxidé résinite*).

Cinquième genre : *Arsénites.* — Rhodoïse (*cobalt arséniaté terreux*) — Néoplase (*nickel oxidé noir*).

DEUXIÈME CLASSE. — LEUCOLITES.

Substances renfermant, comme principe électro-négatif, des corps solides qui ne donnent généralement que des solutions blanches avec les acides, et ne sont pas susceptibles de former des gaz permanents.

Quatorzième famille : Antimonides.
Premier genre : *Antimoine*
Deuxième genre : *Antimoniure.* — Discrase (*argent antimonial*).
Troisième genre : *Antimonoxides.* — Exitèle (*antimoine blanc*). Stibiconise (*antimoine oxidé terreux*).
Quatrième genre : *Hypantimonite.* — Kermès (*antimoine oxidé sulfuré.*)

Quinzième famille : Stannides.
Genre unique : *Cassiterite* (*étain oxidé*).

Seizième famille : Bismuthides.
Premier genre : *Bismuth.*
Deuxième genre : *Oxide de bismuth.*

Dix-septième famille : Hydrargyrides.
Premier genre : *Mercure.*
Deuxième genre : *Hydrargure.* — Amalgame (*mercure argental*).

Dix-huitième famille : Argyrides.
Genre unique : *Argent.*

Dix-neuvième famille : Plumbides. — Plomb. — Massicot (*protoxide de plomb*). — Minium (*deutoxide de plomb*).

Vingtième famille : Aluminides.
Premier genre : *Alumine.* — Corindon (*saphir, rubis, émeri*). — Gypsite (*alumine hydratée*).
Deuxième genre : *Aluminates.* — Spinelle (*rubis balais*). — Gahnite (*spinelle zincifère*). — Pléonaste (*spinelle noir*). — Plongomme (*aluminate de plomb*).

Vingt-unième famille : Magnésides. — Brucite (*magnésie hydratée*).

TROISIÈME CLASSE. — CROIKOLITES.

Substances renfermant, comme principe électro-négatif, des corps solides susceptibles de former des sels ou des solutions colorées, et ne se réduisant jamais en gaz permanents.

Vingt-deuxième famille : Titanides.

Premier genre : *Titanoxide*. — Rutile (*titane oxidé, titanite*). — Anatase.

Deuxième genre : *Titanates*.—Nigrine (*titane oxidé ferrugineux*). — Chrichtonite (*fer oxidé titané*). — Polymignite. — Pyrochlore.

Troisième genre : *Silicio-titanate*. — Sphène (*titane silicéo-calcaire*).

Vingt-troisième famille : Tantalides.

Genre unique : *Tantalates*. — Columbite (*tantale oxidé*). — Bacerine (*tantale oxidé ferro-manganésifère*). — Yttrotantale (*tantale oxidé yttrifère*).

Vingt-quatrième famille : Tungstides.

Premier genre : Acide tungstique.

Deuxième genre : *Tungstates*. — Wolfram (*schelin ferrugineux*). — Scheelite (*schelin calcaire*). — Scheelitine (*tungstate de plomb*).

Vingt-cinquième famille : Molybdides. — Acide molybdique (*molybdène oxidé*). — Mélinose (*plomb molybdaté*).

Vingt-sixième famille : Chromides.

Premier genre : *Oxide chromique*.

Deuxième genre : *Chromite*. — Eisenchrome.

Troisième genre : *Chromates*. — Crocoïse (*plomb chromaté*). — Vauquelinite (*plomb chromé*).

Vingt-septième famille : Uranides. — Pechurane (*urane oxidé*). — Uraconise (*urane oxidé hydraté*).

Vingt-huitième famille : Manganides.

Premier genre : *Manganoxides*.

Les trois espèces d'oxide de manganèse sont employées pour préparer le chlore et les chlorites, ils sont d'autant plus estimés qu'ils contiennent plus d'oxigène, et la première espèce est la plus précieuse sous ce rapport.

Pyrolusite (*manganèse oxidé métalloïde*). — Braunite (*manganèse hydraté cristallisé*). — Acerdèse (*hydroxide de manganèse*).

Deuxième genre : *Manganites.* — Hausmanite (*manganèse gris lamelleux*). — Psilomelane (*manganèse oxidé barytifère*).

Vingt-neuvième famille : SIDÉRIDES.
Premier genre : *Fer.*
Deuxième genre : *Sideroxides.*

Les quatre espèces de fer oxidé fournissent tout le fer qui est employé dans les arts.

Oligiste (*fer oligiste, oxidé rouge, ocre rouge*). — Limonite (*fer hydraté, hématite brune*).
Troisième genre : *Ferrates.* — Aimant (*fer oxidé magnétique*). — Franklinite.

Trentième famille : COBALTIDES. — Peroxide de cobalt.

Trente-unième famille : CUPRIDES. — Cuivre natif. — Ziguéline (*cuivre oxidulé*). — Melaconise (*cuivre oxidé noir*).

Trente-deuxième famille : ORIDES. — Or.

Trente-troisième famille : PLATINIDES. — Platine.

Trente-quatrième famille : PALLADIDES. — Palladium.

Trente-cinquième famille : OSMIIDES. — Iridosmide (*osmiure d'iridium*).

DOUZIÈME PARTIE.

GÉOLOGIE.

1° QUELLE EST LA FORME DE LA TERRE?

La terre a la forme d'un sphéroïde légèrement aplati vers ses deux pôles. On entend par sphéroïde un solide peu différent d'une sphère, et par pôles les deux points fixes du globe terrestre autour duquel il tourne sans cesse.

On a reconnu, par les observations du pendule (*voy.* Physique, page 251), que la quantité d'aplatissement du sphéroïde terrestre était d'environ un trois-centième, c'est-à-dire que la différence, entre les rayons de l'équateur et du pôle, était la trois-centième partie du rayon de l'équateur. Le rayon du pôle est de 1428 lieues, celui de l'équateur de 1433, la différence est de 5 lieues; il en résulte que la terre est de 10 lieues moins allongée dans le sens de son axe, que dans le sens du diamètre de l'équateur. Ces déterminations ont été confirmées par des mesures géodésiques. Dans toutes ces mesures, on a fait abstraction des inégalités du sol qui sont, pour ainsi dire, insensibles lorsqu'on les compare à la masse totale de la terre; sa figure a été déterminée par la surface de l'Océan, qu'on suppose uniformément étendue sur les continents et les îles.

2° QUELLES CONSÉQUENCES GÉNÉRALES PEUT-ON TIRER DU DEGRÉ D'APLATISSEMENT DE LA TERRE VERS SES PÔLES?

Les calculs de géométrie démontrent qu'une masse fluide, lancée dans l'espace, prendrait en se refroidissant précisément la forme que le calcul et l'expérience donnent au globe terrestre; les astronomes ont en outre reconnu la même figure dans d'autres pla-

nètes tournant sur elles-mêmes, et la quantité d'aplatissement s'est toujours trouvée proportionnelle à la rapidité de la rotation. Ces faits mathématiques conduisent naturellement à conclure que l'aplatissement de la terre a été déterminé par son mouvement rotatoire, et que la terre, ainsi que les autres planètes, était primitivement à l'état liquide. Cette hypothèse reçoit encore un grand appui de la chaleur intérieure du globe. Nous verrons plus loin que plus on pénètre dans l'intérieur de la terre, plus la chaleur va en augmentant; nous exposerons les lois de cette progression.

3° QUELLE EST A PEU PRÈS L'ÉPAISSEUR DE LA PARTIE EXTÉRIEURE CONNUE DU GLOBE TERRESTRE, RELATIVEMENT AU DIAMÈTRE DE CELUI-CI?

Si on compare l'épaisseur de la partie extérieure connue du globe terrestre, au diamètre de la terre, on voit qu'elle n'en fait pas la deux-millième partie; on voit combien relativement à la masse de la terre est bornée jusqu'à présent la partie que nous connaissons; pour arriver à ces notions, il a fallu mettre en usage une foule de moyens, et profiter des circonstances accidentelles. Ainsi on ne s'est point borné à observer la surface de la terre; les escarpements des montagnes, les excavations pratiquées pour les mines, les puits et les grands travaux publics, nous ont fait connaître successivement plusieurs couches de cette écorce du globe, et nous ont montré qu'elles présentaient de grandes variétés sous le rapport de l'aspect et de la composition.

4° QU'ENTEND-ON PAR ROCHE, DÉPÔT, STRATIFICATION, SUPERPOSITION, PAR FOSSILES, FORMATION, TERRAIN, SOL?

On nomme *roches* les minéraux simples ou les associations constantes de plusieurs minéraux qui existent en grandes masses dans différentes parties du globe, conservant constamment les mêmes caractères de composition et de structure; tels sont les *granits*, les *schistes*, les *calcaires grenus compactes*, etc. Nous étudierons plus loin les roches les plus importantes qui entrent dans la structure du globe. On nomme *dépôt* un groupe de roches dans lesquelles il y en a une qui est dominante et les autres subordonnées; exemple : la montagne de Montmartre, près Paris, est un dépôt gypseux accompagné de marnes. On entend par *strati-*

fication le parallélisme qui existe entre toutes les masses minérales dont se compose un dépôt, ou un terrain composé de plusieurs dépôts ; quand ces dépôts sont régulièrement placés les uns au-dessus des autres, on dit qu'il y a *superposition*. On nomme *fossiles* les empreintes de différentes sortes que l'on trouve dans les couches du globe, et qui proviennent de corps organisés qui vivaient à l'époque où se formait le terrain qui les renferme. Tous ces débris organiques servent, comme nous le verrons plus loin, à caractériser les différents âges du globe, et à distinguer les couches dont il se compose. On désigne par le mot de *formation* un dépôt qui a été produit d'une manière déterminée comme par les volcans, par les eaux de mer ou par les eaux douces. On désigne encore par ce mot un ensemble de dépôts qui représente une certaine période de temps pendant laquelle les causes qui les ont produits ont agi d'une manière continue. On emploie le mot *terrain* pour désigner des sous-groupes établis parmi les formations qui composent les couches du globe : ainsi l'on dit terrain de gneiss, terrain de granit, etc. On nomme *sol* un ensemble de formations de terrains qui constituent une des grandes divisions établies dans la série des couches du globe. Ainsi on dit sol primitif, sol secondaire, sol tertiaire.

5° EN COMPARANT LES ROCHES AUX PRODUITS ACTUELLEMENT FORMÉS PAR LES EAUX ET PAR LES VOLCANS, PEUT-ON LES DISTINGUER EN ROCHES DE FORMATION AQUEUSE ET ROCHES DE FORMATION IGNÉE ?

Si l'on examine les produits actuellement formés par les eaux et par les volcans, si on les compare avec les roches, on acquiert la preuve que deux causes semblables ont fait les uns et les autres. L'origine ignée des produits volcaniques est évidente; on retrouve des produits parfaitement analogues parmi les roches, les eaux de mer et les eaux courantes, laissant déposer des produits qui ont la plus grande analogie avec les roches qui forment l'écorce du globe, et qui ont dû être également formés par les eaux.

6° QUELS SONT LES CARACTÈRES PARTICULIERS DE CES DEUX MODES DE FORMATION ?

Ainsi on reconnaît qu'il existe deux séries de roches : les unes, et ce sont les plus profondes, sont de nature cristalline, formant

des masses extrêmement épaisses; rarement des couches, presque toutes composées de silicates de potasse, de soude, d'alumine; les autres, au contraire, superposées aux précédentes et arrivant jusqu'à la surface du sol actuel, sont des couches, et plus minces et plus nombreuses, horizontales ou onduleuses dans les plaines plus ou moins inclinées quand elles se rapprochent des chaînes de montagnes, essentiellement composées de carbonate calcaire dans ses différents états, entremêlé de cailloux roulés, de sables, de grès formés par des fragments arrachés à des roches fort différentes d'elles-mêmes, et présentant dans leurs différentes assises des débris d'êtres organisés, végétaux et animaux, qui y ont été successivement enfouis, et dont il n'existe aucun vestige dans les terrains de la première série. Cet examen amène naturellement à conclure que les terrains de la première série, ceux qui ne renferment pas de débris d'êtres organisés, préexistaient à ces êtres; tandis que ceux de la seconde série, dans lesquels on observe ces cailloux roulés, et les débris d'animaux et de végétaux à l'état fossile, ont été formés postérieurement à l'apparition des êtres organisés à la surface du globe. De là la désignation de ces terrains sous le nom de *primitifs* et de *secondaires*.

On a subdivisé en six ordres les deux séries de terrains, primitif et secondaire. Ainsi, entre les terrains de cristallisation, composés de silicates et privés de débris organiques, et les terrains de sédiment, on trouve des couches de roches appartenant à la première série, intercalées au milieu de couches arénacées, ou de couches contenant les premiers débris d'animaux marins invertébrés, appartenant à des genres de crustacés ou de mollusques, dont il n'existe plus d'analogues ni sur nos continents ni dans nos mers, ni même dans les couches plus superficielles. On a donné à ces terrains le nom d'*intermédiaires* ou de *transition* pour rappeler leur position entre les primitifs et les secondaires.

Quant aux terrains de sédiment eux-mêmes, on les a divisés en *terrains secondaires* proprement dits; ce sont ceux qui, placés au-dessus des terrains intermédiaires, commencent à montrer des débris d'animaux vertébrés, d'abord de poissons et de reptiles; puis, plus tard, d'oiseaux; et en *terrains tertiaires*, ce sont tous ceux qui, superposés aux grands dépôts de craie, nous offrent des débris de mammifères, ou d'autres animaux perdus ou dont il existe encore des représentants, et souvent même des espèces tout-à-fait identiques parmi celles qui vivent actuellement à la surface de la terre. Enfin la surface la plus superficielle de nos

continents se compose de couches meubles d'une origine très récente, relativement à celle des autres terrains, et dont la formation peut être attribuée à l'un des derniers cataclysmes dont la terre a été le théâtre; on les nomme *terrains diluviens*. On arrive ainsi à cinq divisions : 1° terrains primitifs; 2° terrains intermédiaires; 3° terrains secondaires; 4° terrains tertiaires; 5° terrains diluviens. Enfin, on forme une sixième division qui comprend les terrains volcaniques.

Nous avons décrit, page 696, les minéraux qui entrent, comme parties les plus importantes, dans les différents terrains; nous allons indiquer maintenant les principales roches qu'ils forment par leur association.

Terrains primitifs. — On donne ce nom aux terrains qui forment les assises les plus anciennes du globe; voici les roches principales dont ils se composent.

1° Le *granit* est une roche grenue, composée d'orthose, de quartz et de mica mélangés intimement. Le granit est tantôt blanchâtre et à points noirs, tantôt gris ou rose. Cette roche se montre dans les assises les plus profondes du globe, et semble servir de base à toutes les autres roches qui lui sont superposées; mais on le rencontre aussi à différents étages des terrains primitifs; on l'observe dans la partie du département de la Nièvre, connue sous le nom de Morvand. 2° Le *protogyne* est une roche grenue, ressemblant beaucoup au granit dont elle diffère seulement parce que le mica y est remplacé par du talc ou de diverses autres matières confondues sous le nom de *chlorite*. Le protogyne est tantôt rosé, tantôt d'un gris blanchâtre; c'est le feldspath qui en constitue généralement la partie dominante. Il porte encore les noms de *granit vert* ou *alpin*, parce qu'il constitue presqu'à lui seul les plus hauts sommets des Alpes. 3° Le *gneiss* est une roche composée des mêmes matériaux que le granit, mais formant des espèces de lames ou de feuillets plus ou moins étendus; de là le nom de *granit-feuilleté* sous lequel on le désigne quelquefois. Le gneiss se montre en général au-dessus du granit massif avec lequel il constitue des couches alternantes avant de former seul des dépôts considérables. 4° Le *leptinite* est un granit schisteux, composé seulement d'orthose et de mica, et dans lequel par conséquent le quartz manque. On le trouve fréquemment interposé entre le granit et le gneiss. 5° Le *pegmatite* est un granit dans lequel le mica manque. On le nomme encore

granit graphique, parce que dans les morceaux polis les fragments de quartz se dessinent comme des caractères hébraïques. Le pegmatite constitue une formation indépendante et remarquable, placée au-dessus du gneiss indépendant; il contient souvent un grand nombre de substances déterminées. 6° Le *micaschiste* est une roche schisteuse composée de quartz et de mica. Cette dernière substance, tantôt en feuillets continus, tantôt en petites paillettes, est de beaucoup la plus abondante, à tel point que le quartz finit presque par disparaître. Le micaschiste forme des dépôts considérables au-dessus du granit et du gneiss indépendant; on le trouve encore plus haut avec les schistes argileux et jusque dans les terrains intermédiaires. 7° Le *schiste argileux* n'est qne le miacschiste dont le quartz a entièrement disparu; il se compose donc de paillettes de mica disposées par feuillets. Après s'être montré en couches subordonnées au milieu du gneiss et du micaschiste, il constitue plus haut une formation séparée qui souvent termine la série des terrains primitifs. 8° La *siénite* se compose de feldspath orthose lamellaire et d'actinote, le premier prédominant dans la masse. Elle est granulaire, de couleur grise ou verdâtre; elle se montre quelquefois très profondément en même temps que le granit massif; d'autres fois, et plus fréquemment, elle forme la liaison entre les terrains primitifs et les intermédiaires. 9° Le *diorite* offre la même composition que la siénite, mais sa structure est généralement compacte; c'est une roche le plus souvent subordonnée et qu'on trouve à tous les étages du terrain primitif. 10° Enfin, indépendamment des roches précédentes, on trouve encore, dans les terrains primitifs, du calcaire le plus souvent grenu ou saccharoïde et du quartz également grenu. Ces différentes roches qui composent les terrains primitifs, se groupent ensemble de manière à former les quatre séries suivantes, dans chacune desquelles il y a toujours une roche prédominante et caractéristique. A. *Terrain de granit massif*, c'est l'assise la plus inférieure de toutes celles que nous avons découvertes. Elle se composé de granit particulièrement à grains fins, et siénite ordinaire, formant des massifs sans stratifications indiquées. B. *Terrain de gneiss* ou de granit feuilleté; il contient en outre du gneiss qui en est la roche dominante, du granit, du leptinite ou gneiss sans quartz, du quartz grenu et du calcaire grenu. C. *Terrain de micaschiste*. On y trouve du quartz mélangé de mica, constituant la roche nommée hyalomicte ou greisen, du

quartz schisteux ou grenu et du calcaire saccharoïde. Ce terrain est ordinairement séparé de celui du gneiss par des dépôts de pegmatite. D. Le *terrain des schistes talqueux et argileux*. Il se compose de protogyne ou granit talqueux, des diverses sortes de schistes, de quartz et de calcaire grenus. Les terrains primitifs, particulièrement la partie supérieure qui se compose de schistes micacés ou talqueux, sont en général très riches en substances métalliques. C'est dans ces terrains que se trouvent la plupart des exploitations de gîte métallifères. Généralement c'est des terrains primitifs et particulièrement du granit que sortent les eaux minérales et thermales et surtout les eaux sulfureuses.

Terrains intermédiaires ou *de transition*. — Ils sont contigus aux roches qui terminent la période primitive et se composent de roches stratifiées, alternant avec du grès ou matières arénacées, et contiennent quelques débris d'animaux et de plantes d'une organisation très simple. Parmi les animaux fossiles on remarque des zoophytes, crustacés ou mollusques dont il n'existe plus de représentants parmi les espèces vivantes; tels sont les encrines, les trilobites, les orthocératites, les productus. Au nombre des végétaux se trouvent principalement des cryptogames appartenant aux familles des équisétacées et des fougères. Ce qui ne caractérise pas moins bien cette seconde période, ce sont les dépôts d'anthracite, c'est-à-dire de houille sèche, qui sont sans contredit les vestiges de la végétation primitive du globe.

Parmi les roches des terrains de transition se trouvent plusieurs de celles que nous avons vues dans la première période, telles que des granits et des siénites, du calcaire, et de plus des phyllades et des grès.

Les *phyllades* sont une roche schisteuse, grise ou noirâtre, susceptible de former des feuillets ou des lames plus ou moins minces, mais dont la cassure est constamment mate, caractère qui distingue cette roche des schistes argileux et talqueux dont la cassure est brillante; les ardoises, les pierres à rasoirs, etc., sont des exemples de phyllades.

Le *grès* des terrains intermédiaires est désigné sous le nom de grauwacke; il se compose de grains de quartz et de phyllade, renfermant quelquefois des parcelles de mica réunies mécaniquement par une matière siliceuse.

Terrains secondaires. — On désigne sous ce nom la série des terrains qui, placés au-dessus des intermédiaires, s'étendent

depuis le grès rouge ou bigarré, jusques et y compris les grands dépôts de craie. Dans la partie inférieure de cette période les roches sont plus particulièrement formées de grès ou d'autres matières arénacées qui paraissent être des fragments des roches sur lesquelles elles sont placées. Mais à mesure qu'on s'élève, les dépôts calcaires deviennent plus abondants et plus puissants, et la stratification plus apparente; aussi les assises du terrain secondaire sont-elles en général parallèles entre elles et offrent une position horizontale dans les plaines. Cependant en s'approchant des montagnes elles sont plus ou moins redressées, inclinées et quelquefois rompues et bouleversées en différents sens. Ces bouleversements sont évidemment produits par des soulèvements intérieurs qui ont ainsi donné naissance à des chaînes de montagnes plus ou moins étendues.

Les fossiles sont plus abondants que dans la période de transition. Ce sont encore des polypiers, des mollusques et quelques vertébrées à sang froid, comme des poissons et des reptiles, mais pas d'animaux à sang chaud. Parmi les végétaux, ce sont, en général, des cryptogames ou des monocotylédones, mais peu ou point de dicotylédones. On peut diviser les terrains secondaires en trois séries distinctes.

1° *Série houillère.* Cette première série, réunie par quelques géologues aux terrains de transition, est surtout caractérisée par la présence de la houille ou charbon de terre qui y forme des amas très puissants, mais en général renfermés dans des espèces de bassins peu étendus. Elle se compose de couches de grès quartzeux, nommé *grès houiller*, le plus souvent grisâtre, mélangé de couches de houille souvent brisée en zigzag. On y trouve aussi du calcaire compacte, contenant des fossiles, tels que des trilobites, orthocératites et même quelquefois des empreintes de poissons.

2° *Série secondaire inférieure.* Elle est formée de grès, de calcaires et de schistes marneux; les grès en occupent la partie inférieure; leur couleur variable, tantôt rouge, grise ou blanche ou même mélangée, leur a fait donner le nom de *grès bigarrés.* Ils sont mélangés de marnes schisteuses et compactes, également très nuancées, et qu'on nomme *marnes irisées.*

Les calcaires de cette période se divisent en deux grandes formations connues sous les noms de *lias* et de *calcaire jurassique.*

1° On appelle *lias* ou *calcaire alpin* un calcaire compacte gris ou presque noir, rarement grenu, traversé de veines blanches.

Ce calcaire contient un grand nombre de coquilles fossiles, parmi lesquelles quelques unes servent à le caractériser; telles sont la *gryphée arcquée*, les *bélemnites* et le *peigne équivalve*. Le lias contient des couches de marnes schisteuses de couleur foncée ou presque noire.

2° Le *calcaire jurassique* constitue une formation très distincte que caractérisent le grand nombre d'oolites qu'on y observe; de là son nom de *calcaire oolithique*. Cette formation contient aussi des calcaires compactes, de marnes compactes ou schisteuses.

Parmi les fossiles on voit paraître des poissons, une énorme quantité de reptiles qui ont dû habiter le voisinage des mers, comme les ichthiosaures et les plésiosaures, géosaures, mégalosaures, etc., des tortues, des crocodiles et des coquilles également marines.

2° *Terrain crétacé*. La présence de la craie forme le caractère distinctif des terrains secondaires supérieurs; généralement ils forment des plateaux élevés ou des monticules à pente roide. Les parties inférieures se composent de grès mélangé de grains verts de silicate de fer; de là le nom de *grès vert* qu'on lui donne.

Au-dessus se trouve la craie d'abord grisâtre, grossière, sablonneuse, et formant la *craie tufau*, puis blanche, terreuse ou compacte.

On trouve dans ces terrains beaucoup de fossiles, tant mollusques ou zoophytes, que poissons et reptiles, mais pas encore d'animaux à sang chaud.

On donne également aux terrains secondaires le nom de terrains de sédiment, par opposition aux terrains de cristallisation donné aux terrains primitifs.

Terrains tertiaires. — Ils commencent immédiatement au-dessus de la craie; ce qui le caractérise essentiellement c'est la grande quantité d'ossements fossiles appartenant aux oiseaux et aux mammifères qu'ils renferment. Dans les terrains secondaires, au contraire, nous avons vu que les animaux à sang chaud étaient à peine représentés par quelques débris épars. Le nombre des coquilles est également très grand, et à mesure qu'on s'élève dans la série des formations tertiaires, les coquilles fossiles ressemblent de plus en plus à celles qui vivent encore dans nos mers et nos ruisseaux.

Ce qui n'est pas moins remarquable, c'est que dans ces terrains il existe une sorte d'alternance de dépôts occasionnés par

les eaux douces, avec les formations marines, ce que l'on reconnaît facilement à la nature des coquilles qui y sont renfermées. En général, ces terrains sont assez limités, et occupent des bassins circonscrits; souvent leurs couches sont horizontales, et lorsqu'ils sont coupés par des vallées, il y a correspondance exacte entre les couches des plateaux que séparent ces vallées. C'est ce que l'on remarque si bien, par exemple, dans les collines du nord de Paris, Montmartre et Ménilmontant, dont les couches sont de même nature et dans la même position, malgré l'énorme vallée qui les sépare.

Les plantes dicotylédones si rares jusqu'à présent, sont au contraires extrêmement abondantes dans les terrains tertiaires.

Dans les couches les plus inférieures, on trouve d'abord des baleines, des dauphins, des lamentins, des phoques, en un mot, des mammifères marins. Ce n'est que plus haut que se montrent les mammifères terrestres, et parmi ceux-ci, ce sont plus particulièrement des animaux herbivores, appartenant soit à des genres d'espèces encore actuellement vivantes, soit à des genres entièrement perdus, comme les *paleotherium*, etc.

Le terrain tertiaire se compose, en général, de roches peu dures, et à structure grossière. Ce sont des calcaires grossiers, souvent mélangés de silice, des sables, des marnes, des grès et du gypse.

La partie la plus inférieure de ce terrain est formée par un calcaire coquillier impur, qui porte le nom de calcaire *à cérites*, à cause du grand nombre de coquilles de ce genre qu'il contient. C'est la pierre avec laquelle sont bâtis tous les monuments de Paris. Il est impur et jaunâtre, et sa dureté est plus ou moins grande. Au milieu de ce calcaire sont intercalées quelques couches de marnes calcaires contenant des coquilles d'eau douce et des os de mammifères terrestres.

Au-dessus viennent des couches de marne, de calcaire siliceux et de gypse. C'est dans le gypse de Montmartre que l'on a trouvé la plupart de ces nombreux ossements d'animaux terrestres décrits dans le bel ouvrage de Cuvier. Il contient aussi beaucoup de coquilles, mais qui toutes paraissent être fluviatiles.

Enfin, dans les assises supérieures, on trouve des sables et des gres (à Fontainebleau), que surmontent des couches d'un calcaire contenant des coquilles d'eau douce, mélangées dans certaines localités de pierres meulières, comme aux environs de Paris, ou des coquilles marines.

Ce qui caractérise encore ces derniers dépôts du terrain tertiaire, c'est la présence des débris d'éléphants, d'hyènes et d'ours, différents des espèces actuellement vivantes, et ces cadavres de mammouth ou éléphant velu que l'on trouve enfouis sous les glaces de la Sibérie, avec leurs poils et même leurs chairs. Ces espèces, perdues aujourd'hui, appartenaient aux animaux qui peuplaient la surface de la terre au moment où éclata le cataclysme auquel est due la formation des terrains tertiaires.

Terrains diluviens. — Ce terrain est composé de sables, de graviers, de cailloux roulés et parfois d'énormes blocs n'ayant aucun rapport avec le terrain sur lequel ils sont placés et qu'on nomme blocs erratiques. On trouve dans ces terrains un assez grand nombre de fossiles qui, à peu d'exceptions près, appartiennent aux mêmes espèces que celles qui vivent à la surface de la terre; c'est à ces terrains diluviens qu'appartiennent ces énormes quantités d'ossements réunis par une sorte de ciment rougeâtre et qu'on nomme *brèches osseuses.*

Terrains postdiluviens ou *d'alluvion.* — Ce sont ceux qui se sont formés depuis le déluge; ils constituent des dépôts ou marins ou fluviatiles. C'est seulement dans ces terrains que l'on retrouve des ossements humains.

Terrains volcaniques. — On distingue trois sortes de terrains volcaniques : le terrain trachytique; le terrain basaltique et le terrain de laves.

1° Le *terrain trachytique* est essentiellement formé par une roche d'origine ignée, que les géologues, depuis Haüy, appellent *trachyte.* Elle a la structure porphyroïde et poreuse, et se compose essentiellement de feldspath, mélangé d'amphibole et de mica. Sa couleur est très variable, elle est grise, brune, rougeâtre, verte, etc. Elle est âpre au toucher et offre une grande analogie avec les roches massives des terrains primitifs; analogie que confirme l'opinion généralement admise aujourd'hui de l'origine ignée de ces terrains. Les trachytes sont communs en Auvergne et forment la masse du Puy-de-Dôme, du Mont-d'Or, etc. Le terrain trachytique paraît être beaucoup plus ancien que le terrain basaltique, qui lui est généralement superposé. Mais il arrive quelquefois que ces deux espèces de terrains marchent parallèlement l'un à l'autre.

2° Le *terrain basaltique* se compose de roches dans lesquelles prédomine le pyroxène. Tantôt elles forment des assises puissantes, tantôt elles sont composées d'un assemblage de prismes

plus ou moins réguliers. Leur structure est compacte, leur couleur brune ou presque noire. Les montagnes de l'Auvergne et du Vivarais en offrent de nombreux exemples.

3° *Terrain de laves*, c'est celui qui se forme autour et par les éruptions des volcans encore en état d'ignition. Les laves peuvent varier à l'infini dans leurs caractères, c'est le pyroxène qui prédomine dans leur composition. Les unes sont dures, compactes et résistantes. Toutes les maisons et les palais de Naples et de ses environs sont construits avec les laves compactes du Vésuve. D'autres, au contraire, sont légères et poreuses. Les unes sont grisâtres, brunes, presque rougeâtres ou tout-à-fait noires; elles forment souvent des couches d'une grande épaisseur et d'une énorme étendue. Les laves paraissent n'être, en quelque façon, que des trachytes ou des basaltes qui ont été de nouveau liquéfiées par le feu.

7° COMMENT RECONNAIT-ON L'AGE RELATIF DES DIVERS DÉPÔTS FORMÉS PAR LES EAUX?

Nous avons étudié, dans le paragraphe précédent, les divers terrains formés par les eaux et les roches qui les composent. Nous avons indiqué comment ils s'étaient successivement déposés, nous allons nous résumer en montrant quels sont les moyens précis de déterminer l'âge de ces terrains. Presque dans aucun lieu, on ne remarque la superposition complète de terrains formés par les eaux, il en manque souvent plusieurs; mais ce qui n'arrive jamais, sauf quelques cas exceptionnels, c'est de voir un terrain d'une époque antérieure, placé au-dessus d'un terrain, qui, dans l'ordre de leur succession, devait lui être supérieur. Ainsi, par exemple, on ne voit pas le terrain secondaire superposé au terrain tertiaire, on ne rencontre jamais le calcaire, à bâtir, de Paris au-dessous de la craie, ni la houille au-dessus du calcaire du Jura, etc. Mais il arrive souvent que, dans certaines localités, les terrains qui séparent deux époques antérieures peuvent manquer en totalité, de telle sorte que ces deux terrains extrêmes se trouvent immédiatement superposés. En effet, c'est sur la surface très inégale des terrains les plus anciens présentant des éminences et des enfoncements, des bassins et des saillies, que les autres se sont successivement déposés, il a dû arriver que lorsque ces bassins n'ont pas été entièrement comblés

par les premiers dépôts, leurs parties les plus saillantes se trouvaient encore à nu, quand une nouvelle cause est venue changer la nature des dépôts. Une cause très puissante a dû encore agir, celle des feux souterrains et des soulèvements; elle a dû soulever et mettre à nu des portions de terrains anciens. Par suite de ces soulèvements de terrains les couches sédimenteuses qui primitivement avaient une portion horizontale, en ont pris une très inclinée et quelquefois même verticale; il résulte de cette disposition que ce ne sont plus les faces de ces couches, mais leurs côtés qui forment la superficie du sol.

Quoi qu'il en soit, il est souvent très important de déterminer d'une manière positive la série chronologique des terrains. Cette connaissance donne les moyens de prévoir, d'après la nature de la surface du sol, les dépôts qu'on doit successivement rencontrer, en pénétrant dans un lieu donné, dans les entrailles de la terre, et quels sont ceux qu'on ne peut pas logiquement espérer trouver. Si toutes les couches se trouvaient superposées dans un même lieu, rien ne serait plus facile que la détermination de leur ancienneté, car les plus profondes devraient être regardées comme les plus anciennes et successivement. Mais s'il s'agit de déterminer l'âge relatif de trois couches, qui ne se rencontrent point réunies en aucun lieu de la terre, on comparera leur ancienneté de formation, deux à deux, au moyen de ces comparaisons il sera facile d'établir leur âge relatif.

8° LES MÊMES MOYENS PEUVENT-ILS SERVIR POUR CLASSER, DANS L'ORDRE DE LEUR ANCIENNETÉ, LES DÉPÔTS D'ORIGINE IGNÉE.

On ne peut indiquer avec autant de certitude l'âge des dépôts ignés. On comprend sans peine que la même roche, qui a été soulevée des profondeurs de la terre, et qui est venue, à l'état liquide ou pâteux, s'épancher sur les couches déjà solidifiées, a pu s'intercaler entre ces couches solides, et se placer souvent à la fois au-dessus et au-dessous de la même roche. Ainsi on ne peut employer le principe de la superposition, si certaine pour les roches d'origine aqueuse, qu'avec réserve lorsqu'il s'agit des roches d'origine ignée; il ne prendra quelque valeur que lorsqu'il sera corroboré par plusieurs autres faits. Le plus important de tous, c'est le mode dont se coupent entre elles les roches d'origine ignée et les roches d'origine aqueuse. Si l'on reconnaît avec

certitude qu'une roche plutonique est venue de bas en haut traverser et séparer en deux parties un autre dépôt quelconque, on en conclura qu'elle est plus moderne que ce dépôt; les mineurs emploient ce mode d'observation pour déterminer l'âge relatif de deux filons qui se coupent, le filon coupant étant plus nouveau que le filon coupé. On peut encore, pour déterminer l'âge relatif des roches d'origine ignée, employer, mais avec réserve, les caractères tirés des propriétés physiques et chimiques des minéraux qui composent les roches d'origine ignée. On peut admettre que les minéraux les plus réfractaires et d'une composition plus stable ont été déposés les premiers.

9° DONNER UNE IDÉE DE LA COMPOSITION ET DE LA STRUCTURE DU TERRAIN QUI RENFERME LA HOUILLE.

Nous avons déjà, en parlant du sol secondaire, indiqué le gisement de la houille. Ce précieux combustible ne se trouve que dans un seul terrain; c'est dans le *grès houiller* qui occupe la partie inférieure du sol secondaire. Le *grès houiller* se compose de couches d'un grès quartzeux, micacé, grisâtre ou jaunâtre, et quelquefois de couleurs variables; il renferme souvent des couches subordonnées de schistes argileux noirâtres qui présentent des empreintes végétales. Les couches du terrain houiller forment des bassins circonscrits; elles se présentent fréquemment rompues et repliées sur elles-mêmes. La houille est en amas ou en bancs plus ou moins étendus, alternant avec les couches argileuses. On trouve souvent, au milieu de ces argiles, des rognons d'un carbonate de fer compacte et terreux. En parlant du sol secondaire, nous avons indiqué la nature des fossiles végétaux et animaux qui se rencontrent dans le terrain houiller. On distingue plusieurs variétés de houilles, laminaire, schistoïde, daloïde, compacte, baccillaire, irisée, etc. On n'est pas encore bien d'accord sur l'origine de la houille; on peut supposer que les houillères ont une origine semblable à celle des tourbières qui se forment journellement sous nos yeux. Les différentes espèces de houilles sont répandues dans la nature avec abondance; il en existe de vastes dépôts en Angleterre, en France, en Allemagne, en Belgique et à la Chine, où l'usage de la houille paraît tout aussi répandu qu'en Europe.

10° INDIQUER LES PRINCIPALES CONDITIONS DE COMPOSITION ET DE STRUCTURE DU SOL FAVORABLES A LA RECHERCHE ET A LA DÉCOUVERTE DES SOURCES DES EAUX JAILLISSANTES.

En forant verticalement le sol, dans certaines localités, jusqu'à des profondeurs suffisantes, on atteint des nappes d'eau souterraines qui remontent à la surface le long du canal que la sonde leur a ouvert. Ces eaux forment souvent des jets abondants et élevés. Des fontaines jaillissantes creusées de mains d'hommes, ou même de simples puits d'un faible diamètre alimentés par des eaux venant d'une grande profondeur, portent le nom de *fontaines artésiennes*, de *puits artésiens*, de *puits forés.*

Les puits artésiens sont ainsi appelés du nom d''une province de France (l'Artois), où l'on paraît s'être le plus spécialement occupé de la recherche des eaux souterraines. Il ne faut pas se dissimuler, toutefois, que des puits de cette espèce étaient parfaitement connus des anciens, et qu'ils savaient les construire.

On peut admettre de prime abord que l'eau des puits artésiens, comme celle des puits ordinaires et de source, n'est autre chose que l'eau de pluie qui a coulé à travers les pores ou les fissures du sol jusqu'à la rencontre de quelque couche de terre imperméable. Des théories plus savantes ont précédé cette opinion; elles sont généralement abandonnées aujourd'hui. On a cru que l'eau de mer avait dû nécessairement se répandre par voie d'infiltration dans l'intérieur des continents, et qu'à la longue elle avait formé une nappe liquide; on admettait qu'elle perdait sa salure par une longue filtration. Cette hypothèse est renversée lorsqu'on voit des puits sans eaux dont le fond est cependant plus bas que cette prétendue nappe d'eau souterraine. Aristote, Sénèque, Descartes pensaient que des vapeurs intérieures seules ou mêlées à celles de l'air, venaient, en se condensant à la surface du sol, y entretenir une continuelle humidité. L'argument principal sur lequel s'appuyait cette théorie, c'était l'existence prétendue de sources au point culminant de quelque montagne; mais un examen attentif a prouvé, ou que leur sommet recevait une quantité d'eau plus grande que celle qu'elles déversaient, ou qu'elles étaient dominées par quelque autre montagne voisine.

Examinons maintenant de quelle manière les eaux pluviales peuvent circuler dans les terrains de diverses natures.

Les *terrains primitifs* sont peu et rarement stratifiés; les fentes, les fissures des roches granitiques, les crevasses qui séparent chaque masse de la masse contiguë, ont, en général, peu de largeur, peu de profondeur, et communiquent rarement entre elles. Dans les terrains primitifs, les eaux d'infiltration ne doivent donc avoir que des trajets souterrains très bornés. Chaque filet liquide achève son cours, pour ainsi dire, isolément et sans se fortifier par l'addition de filets voisins. L'expérience montre en effet que, dans les terrains de cette espèce, les sources sont très nombreuses, très peu abondantes, et qu'elles sourdent à de faibles distances de la région dans laquelle l'infiltration des eaux pluviales s'est opérée.

Les *terrains secondaires* ont, comme nous l'avons vu, la forme d'immenses bassins; c'est-à-dire qu'après avoir été presque de niveau dans une grande étendue, ils se relèvent de manière à circonscrire la partie horizontale dans une enceinte de collines ou de montagnes. Nous ajouterons que les roches secondaires sont disposées par couches; que certaines de ces couches, d'ailleurs fort épaisses, se composent de sables en partie désagrégés et très perméables; qu'en se relevant vers les extrémités des bassins, ces couches perméables se présentent à nu sur les flancs des collines ou des montagnes; que les eaux pluviales peuvent, par infiltration, y aller former des nappes liquides continues; que ces nappes, lorsque les couches ont une forte déclivité, ne sauraient manquer de se mouvoir avec vitesse vers les parties basses; que dans leur marche les eaux courantes entraînant peu à peu le sable et même des portions de roches environnantes, des rivières souterraines doivent remplacer certaines parties du massif originaire, et opérer de grands vides là où primitivement tout se touchait.

Les *terrains tertiaires* sont composés, comme nous l'avons vu, d'un nombre plus ou moins considérable de couches superposées. Ces terrains, comme les secondaires, affectent la forme de bassins, mais de dimensions beaucoup moins étendues; cette forme résulte du redressement des couches. Dans l'acte de redressement de la masse totale de ces terrains, toutes ces couches le plus ordinairement se déchirent, se morcellent: il en résulte qu'elles se montrent au jour sur les flancs et les sommets de collines. Dans la série des couches de diverses natures, qui, rangées en tout

lieu, suivant un ordre constant, composent les terrains tertiaires se trouvent à *plusieurs étages* des couches de sable perméables. Ces couches, les eaux pluviales doivent les parcourir d'abord dans la partie très inclinée, en vertu de la pesanteur du liquide ; ensuite, dans les branches horizontales, à raison de la pression exercée par l'eau que les portions relevées des couches n'ont pas encore laissé écouler. Il faut donc s'attendre, en chaque localité, à trouver au sein du massif tertiaire autant de nappes liquides souterraines qu'on y comptera d'étages distincts de couches sablonneuses reposant sur des couches imperméables. Sous le rapport de la manière d'être, ou du gisement des eaux, les terrains secondaires et tertiaires peuvent donc être assimilés entre eux; mais dans les terrains secondaires les phénomènes se passent sur une plus grande échelle, à raison de la prodigieuse épaisseur des couches, de leurs alternances moins fréquentes et de la force des cours d'eau intérieurs; c'est ainsi qu'on explique encore comment les sources naturelles des terrains secondaires sont à la fois si rares et si abondantes.

On peut facilement se rendre compte de la force qui soulève les eaux souterraines et les fait jaillir à la surface du sol. Si l'on verse de l'eau dans un tuyau recourbé en forme d'U, elle s'y met de niveau ; elle se maintient dans les deux branches à des hauteurs verticales exactement égales entre elles. Supposons que la branche de gauche de ce tuyau, débouche par le haut dans un vaste réservoir qui puisse l'entretenir constamment plein, que la branche de droite soit coupée vers le bas, qu'il n'en reste qu'une petite partie *dirigée verticalement*, que celle-ci, enfin, soit fermée par un robinet ; lorsque ce robinet sera ouvert, l'eau jaillira dans l'air, de bas en haut, par le tronçon de la branche droite, jusqu'à la hauteur où elle s'élevait quand cette branche existait tout entière. Elle remontera de la quantité dont elle était descendue, à partir du niveau du réservoir qui alimente sans cesse la branche opposée.

Si nous examinons maintenant la manière dont les eaux pluviales pénètrent dans certaines couches de terrains stratifiés; si nous rappelons que c'est seulement sur le penchant des collines, ou à leur sommet, que ces couches se montrent à nu par leur tranche, que c'est là qu'est leur prise d'eau, qu'elle a donc lieu sur les hauteurs; si nous nous rappelons qu'après être descendues le long des collines elles coulent horizontalement dans les plaines, qu'elles sont comme emprisonnées entre deux couches imperméa-

bles de glaise ou de roche; si on pratique dans ces plaines un trou de sonde, ce canal deviendra la seconde branche du siphon renversé, et le liquide s'élèvera dans ce trou de sonde à la hauteur que la nappe correspondante conserve sur les flancs de la colline où elle a pris naissance. Dès lors, tout le monde doit concevoir comment, dans un terrain horizontal donné, les eaux souterraines, placées à divers étages, peuvent avoir des forces ascensionnelles différentes; dès lors, tout le monde expliquera pourquoi la même nappe jaillit ici à une grande hauteur, tandis que, plus loin, elle ne monte pas jusqu'à la surface du sol. De simples inégalités de niveau deviendront la cause suffisante, la cause naturelle de toutes ces dissemblances. Quelques unes de ces fontaines, par exemple, celles de Lillers, en Artois, jaillissent au milieu d'immenses plaines. La plus insignifiante colline ne se montre d'aucun côté; il faut alors chercher à quinze, trente lieues, et même au-delà, les colonnes hydrostatiques dont la première doit ramener les eaux souterraines au niveau de leurs points les plus élevés.

11° DIRE DANS QUELLES FORMATIONS ET DANS QUELS TERRAINS SE RENCONTRENT LES DIVERS MINERAIS MÉTALLIQUES, LES DÉPÔTS CHARBONNEUX, LES MARBRES, LE SEL GEMME, LE GYPSE, LES PIERRES LITHOGRAPHIQUES, LES PIERRES A CHAUX HYDRAULIQUE, LES ARGILES A PORCELAINE ET POTERIE, LES MARNES A AMENDER.

Nous avons déjà vu que les principaux minerais métalliques se rencontrent particulièrement dans les terrains primitifs et surtout de transition. Les dépôts de gneiss et de micaschiste sont en Europe le terrain métallifère par excellence. On les rencontre encore dans les terrains secondaires les plus inférieurs; ils se trouvent alors en amas puissants, en filons, en veines, en rognons. Certains minerais métalliques se trouvent dans les terrains de dépôt. Ainsi l'or se rencontre dans les terrains de transports anciens; le fer hydroxidé ou limoneux, dans les terrains de nouvelle formation.

Des combustibles charbonneux. Ils sont très abondants à la surface de la terre, surtout dans certaines contrées; ils appartiennent à presque tous les âges; ils commencent dans les terrains intermédiaires et ne finissent que dans les dépôts les plus

récents de nos continents; ils s'accumulent même tous les jours dans nos mers.

Dans les terrains intermédiaires on ne trouve que de *l'anthracite*, qui est en couches ou en amas soit au milieu des roches arénacées les plus anciennes, soit au milieu des roches schisteuses auxquelles les premières passent par toutes les nuances et qu'on nomme schistes argileux intermédiaires. On a rencontré ces combustibles dans les Alpes du Dauphiné.

Dans les terrains secondaires, les matières charbonneuses varient d'un étage à l'autre, mais elles ne se rencontrent en masses considérables que dans la partie inférieure de ces terrains. L'anthracite, considéré minéralogiquement, s'y prolonge quelquefois; mais la substance la plus abondante est la houille qui se trouve au milieu des grands dépôts arénacés, désignés sous le nom de grès houillers, par lesquels commence la série des terrains secondaires. Elle y forme des couches, dont il existe ordinairement plusieurs les unes sur les autres; il y a des localités où l'on en a compté plus de soixante. Ces diverses couches sont séparées par des grès analogues à ceux qui les enveloppent, mais plus charbonneux, ou par des matières fines assez solides, schisteuses, qui n'en sont que des variétés.

La houille disparaît dans les *parties supérieures des dépôts secondaires.* On en a trouvé quelques faibles traces dans le grès bigarré et peut être encore dans le calcaire à gryphées; mais on trouve dans ces parties supérieures les *lignites*, qui s'y présentent à tous les étages, à commencer même peut-être par le grès houiller; il existe souvent dans ces terrains une matière intermédiaire entre la houille et le lignite, qu'on nomme houille maigre. Les *lignites* se rencontrent encore dans les terrains tertiaires, et ils constituent la plus grande partie des dépôts charbonneux des terrains tertiaires.

Dans les parties supérieures de dépôts tertiaires, et dans les terrains de sédiment qui ont recouvert en dernier lieu nos continents, on trouve des amas de *bois altérés* et des dépôts de tourbe que nous voyons journellement se former sous nos yeux; la tourbe couvre quelquefois des espaces immenses dans les parties les plus basses de nos continents, et remplit les bas-fonds des larges vallées, dont la pente peu considérable empêche l'écoulement des eaux; quelquefois aussi elle forme de très petits dépôts, qui n'ont que quelques toises carrées de surface dans les petites vallées, les

gorges et les bassins des hautes montagnes, et jusque dans les petits lacs qui se trouvent sur des sommets très élevés, dans des points mêmes que la végétation n'atteint plus aujourd'hui. La plupart de ces dépôts sont encore couverts d'eau, ou au moins très marécageux; mais dans quelques lieux ils sont à sec, et il s'est formé au-dessus d'eux des couches de sable et de limon. On reconnaît, parmi les végétaux qui constituent ces dépôts, toutes les plantes qui croissent dans les marais, et dont une grande partie appartient à la famille des cypéracées.

Les *marbres* blancs saccharoïdes, ou marbres statuaires, se rencontrent en bancs dans les terrains primordiaux; les marbres compactes, colorés, dans le terrain de transition.

Sel gemme. — Il n'existe point de sel dans les terrains primitifs. Cette substance ne commence à se montrer que dans les derniers dépôts intermédiaires, subordonnés aux roches calcaires et aux dépôts arénacés qui s'y trouvent, où elle est toujours accompagnée de sulfate de chaux anhydre. Elle se prolonge ensuite assez avant dans les terrains secondaires. Elle s'y trouve d'abord dans les dépôts calcaires qui viennent immédiatement au-dessus des grès houillers. Plus haut, le sel se présente dans le grès bigarré; partout il est accompagné de sulfate de chaux hydraté, soit en dépôts assez considérables, soit en veines, et quelquefois seulement en cristaux épars dans l'argile environnante.

Du plâtre, gypse ou sulfate de chaux. — Les sulfates de chaux ne commencent à paraître que dans les terrains intermédiaires; mais ils se retrouvent à plusieurs étages dans la série des terrains secondaires, et enfin à la partie supérieure des dépôts tertiaires. Ils forment, dans les uns et dans les autres, des couches plus ou moins puissantes. Dans les premiers, c'est presque toujours du sulfate anhydre, ou *karsténite;* il se trouve intercalé dans des schistes intermédiaires qui ont quelquefois tous les caractères de micaschistes, rarement entre des couches calcaires; les Alpes et la Tarentaise nous en présentent plusieurs exemples : celles du Piémont, dans le haut de la vallée d'Aoste, nous en offre pareillement, etc.

Dans les terrains secondaires, c'est au milieu des calcaires que les sulfates de chaux se présentent. On les rencontre d'abord dans la partie inférieure; plus haut, au milieu du grès bigarré

et des argiles qui l'accompagnent, et ensuite avec le calcaire supérieur, c'est uniquement du sulfate aqueux.

Dans les terrains tertiaires, les masses du sulfate de chaux, qui sont toujours hydratées, sont beaucoup moins abondantes; les plus beaux exemples se présentent autour de Paris, au nord, à l'est et à l'ouest, principalement sur la droite de la Seine : la butte de Montmartre en est un des points les plus connus. Ces dépôts sont presque toujours mélangés de carbonate de chaux, et c'est cette substance qui donne au plâtre de Paris une excellente qualité.

Pierres lithographiques. — Les pierres dont on se sert pour la lithographie sont des variétés compactes de carbonate de chaux, qui doivent être bien homogènes sur une étendue suffisante, avoir un grain très fin, uniforme, être exemptes de veines, de fissures, et s'imbiber d'eau jusqu'à un certain point. Les pierres qui réunissent plus particulièrement ces qualités, sont celles qu'on tire des dépôts analogues à ceux qui forment la chaîne du Jura; les plus renommées sont celles de Papenheim, sur les bords du Danube, en Bavière; mais on en a aussi trouvé en France qui sont de très bonne qualité, et dont nos artistes se servent avec succès; telles sont particulièrement les pierres de Châteauroux, département de l'Indre. On en tire aussi de Belley (Ain), de Dijon, de Périgueux; on en a même trouvé, aux environs de Paris, dans le calcaire siliceux des formations d'eau douce, et particulièrement dans certains lits de marne qui accompagnent les dépôts de gypse tertiaire.

Les pierres à chaux hydraulique appartiennent presque toutes aux terrains de lias, ou aux calcaires jurassiques qui les recouvrent.

Les argiles à poterie se rencontrent dans les terrains secondaires, et surtout dans les terrains tertiaires. Nous avons déjà dit que les *argiles à porcelaine*, ou kaolin, proviennent de l'altération du feldspath et d'une roche primitive nommée *pegmatite*.

Les marnes à amender se rencontrent à différents étages dans les terrains secondaires, et surtout dans les terrains tertiaires. Nous avons déjà vu qu'elles accompagnent souvent le plâtre. Les marnes sont employées de temps immémorial pour amender les terres, et il est important d'en distinguer les différentes espèces pour ne pas se servir indifféremment des unes et des autres dans toutes les circonstances. Il y a des marnes qui ne sont que des argiles mélangées d'une petite quantité de carbonate de chaux;

d'autres, au contraire, qui ne sont que des carbonates de chaux souillés par des matières argileuses. Les marnes de la première espèce ne peuvent convenir qu'à des sols calcaires. Les marnes calcaires, au contraire, ne peuvent être employées avec profit que dans les terrains argileux.

FIN.

TABLE

DES MATIÈRES CONTENUES DANS CE VOLUME.

DEUXIÈME PARTIE. — GÉOMÉTRIE. 70

TROISIÈME PARTIE. — TRIGONOMÉTRIE. 138

QUATRIÈME PARTIE. — ALGÈBRE. 163

CINQUIÈME PARTIE. — GÉOMÉTRIE ANALYTIQUE. 203

SIXIÈME PARTIE. — ELÉMENTS DE STATIQUE. 221

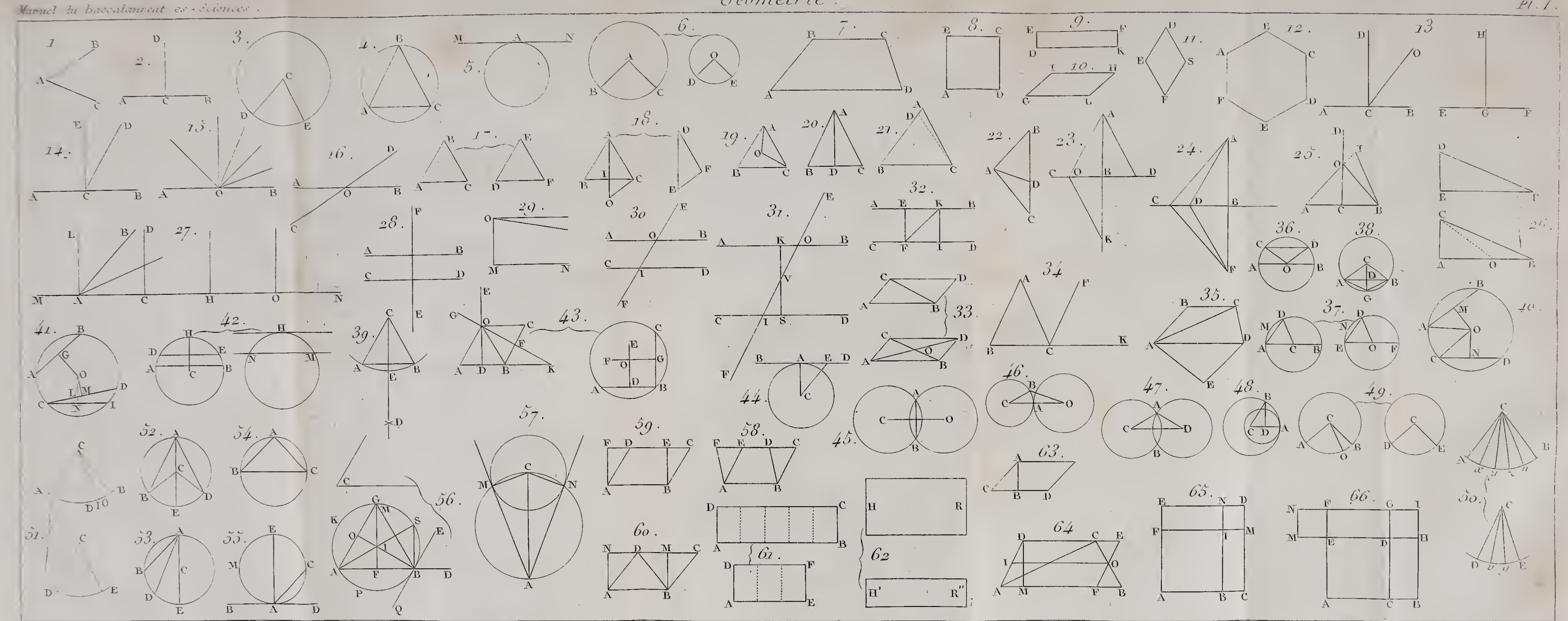
SEPTIÈME PARTIE. — PHYSIQUE. 240

HISTOIRE NATURELLE.

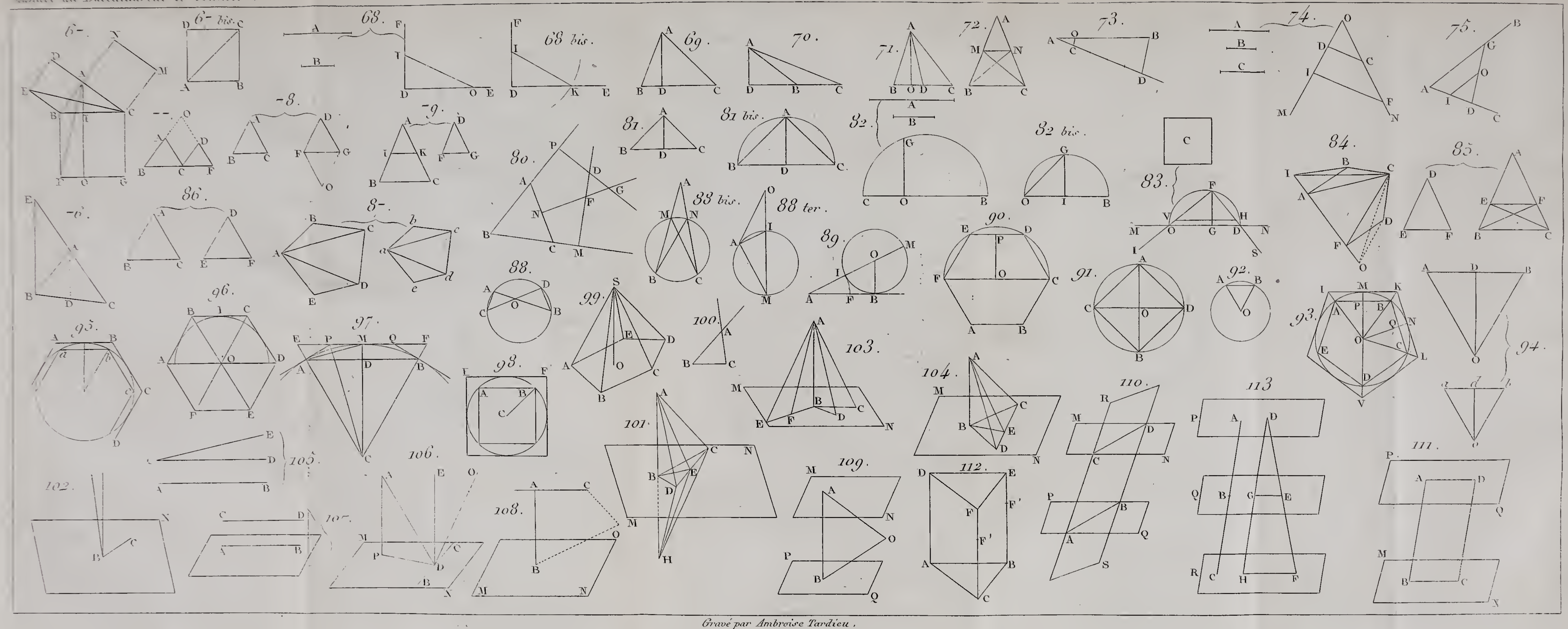
NEUVIÈME PARTIE. — ZOOLOGIE. 512

DIXIÈME PARTIE. — BOTANIQUE. 569

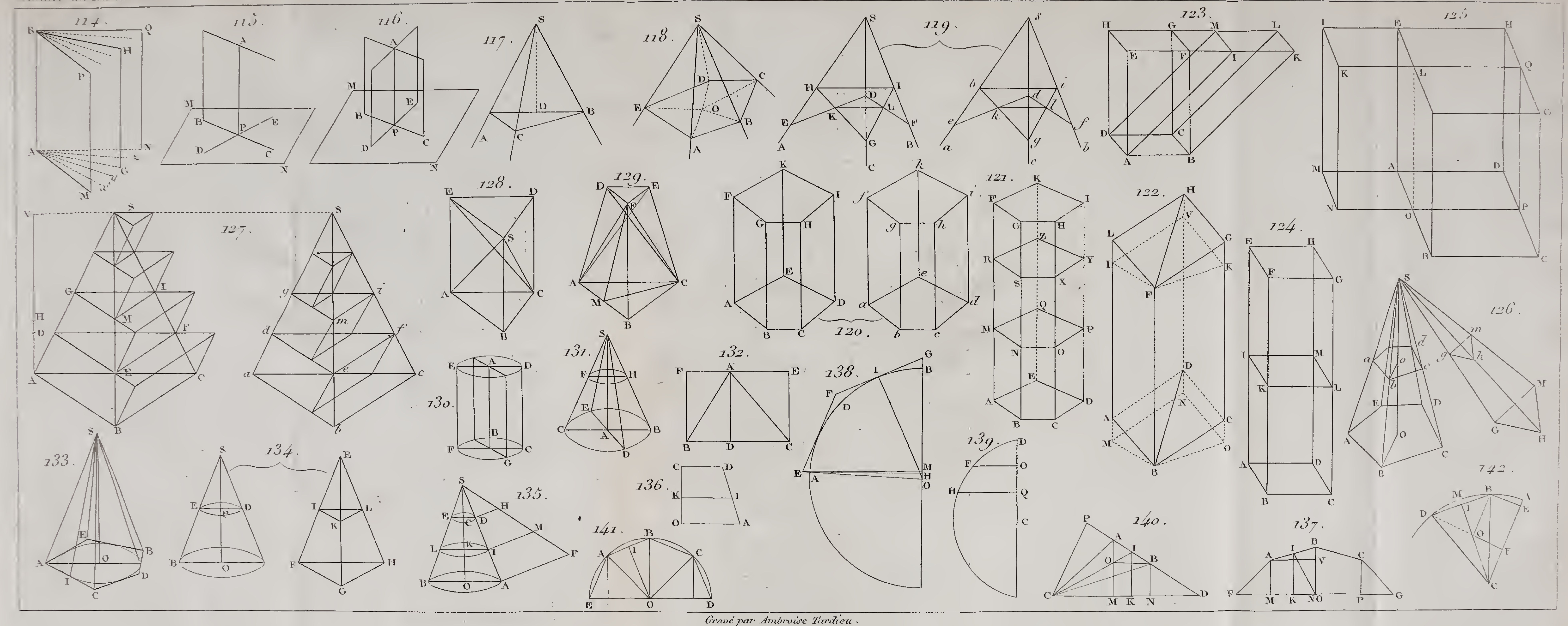
ONZIÈME PARTIE. — MINÉRALOGIE. 676



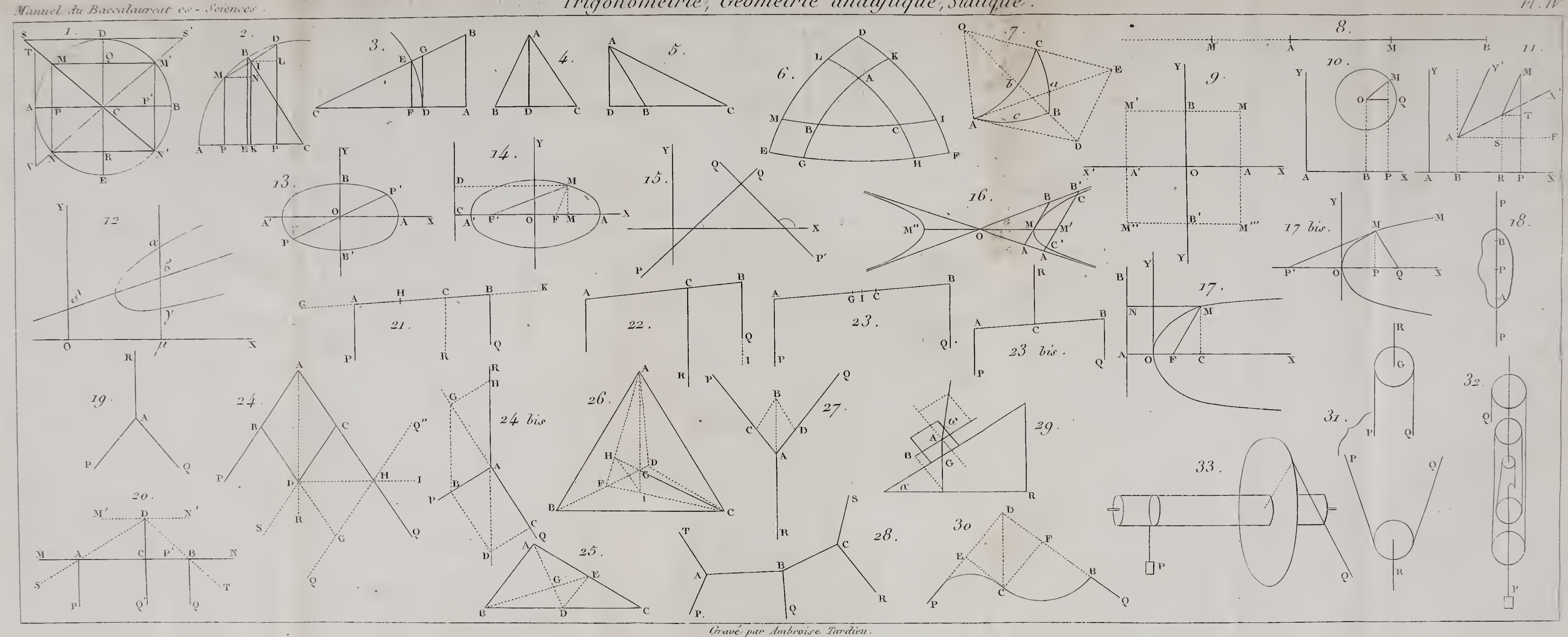
Gravé par Ambroise Tardieu.



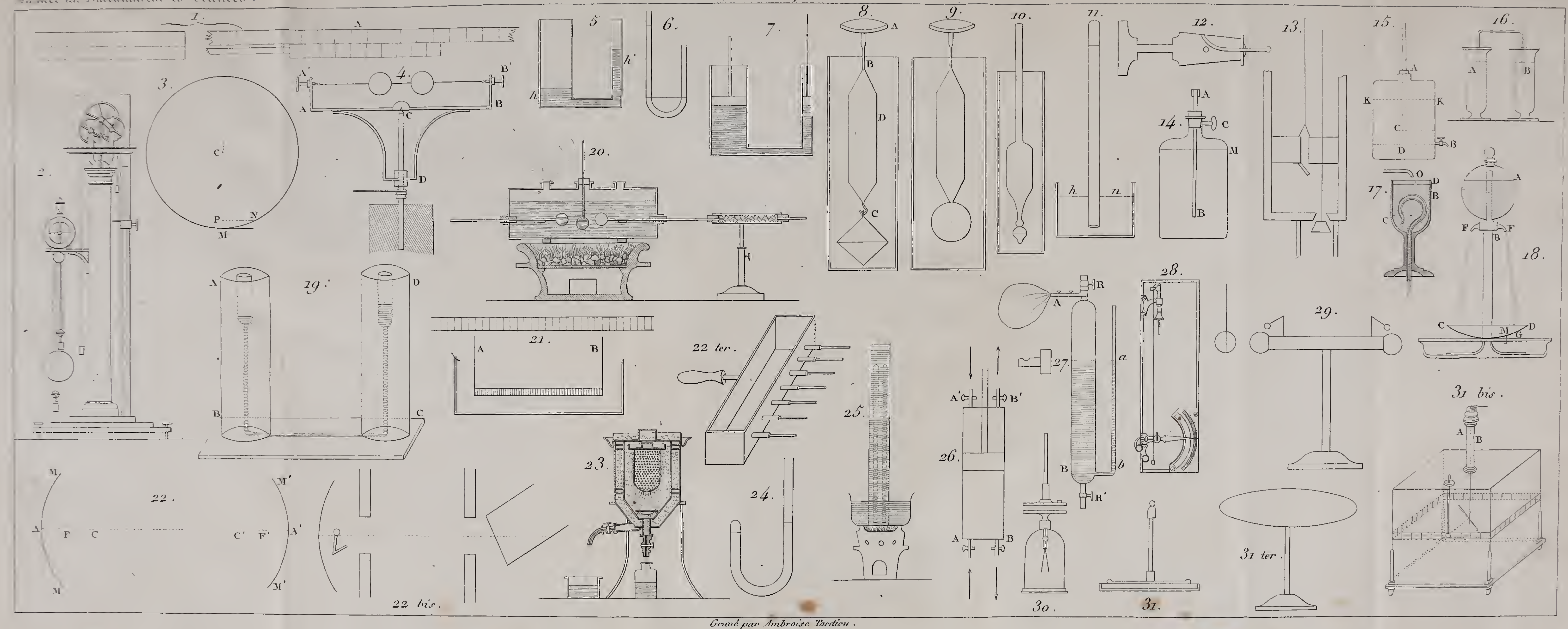
Gravé par Ambroise Tardieu.



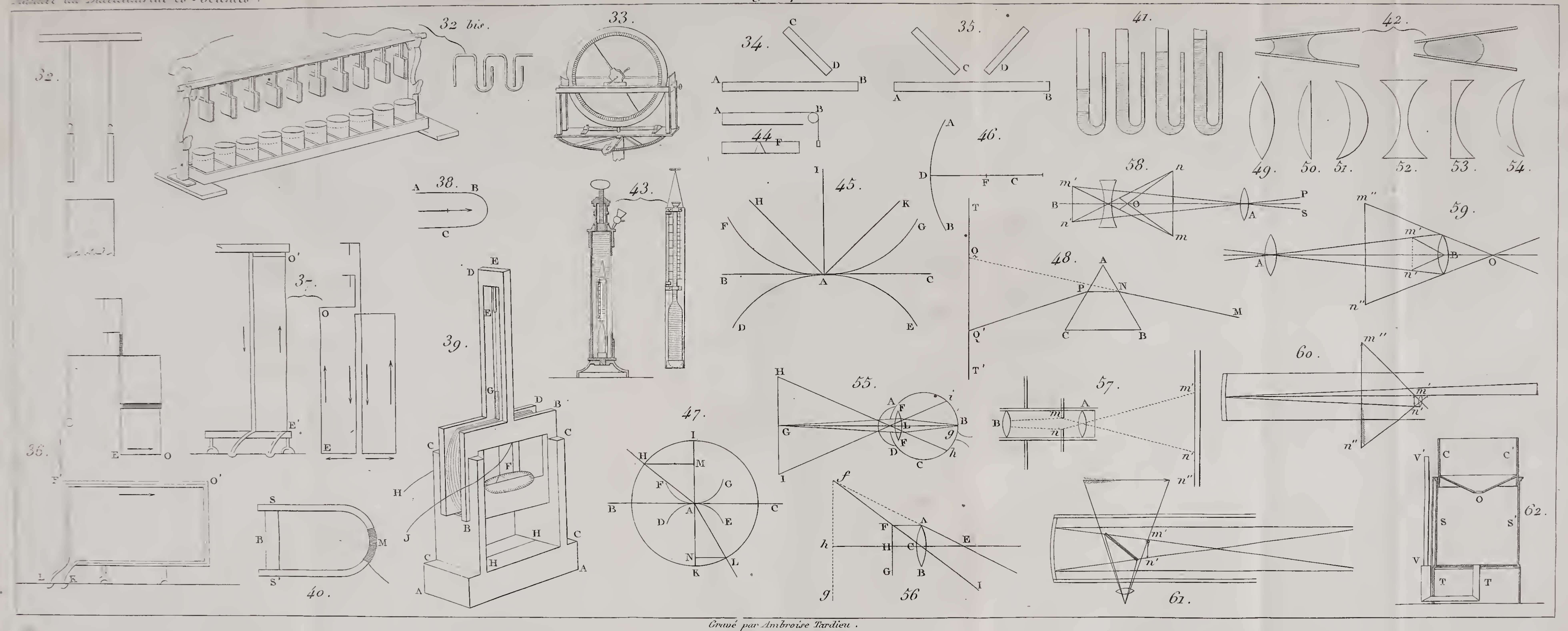
Gravé par Ambroise Tardieu.



Gravé par Ambroise Tardieu.



Gravé par Ambroise Tardieu.



Gravé par Ambroise Tardieu.

